



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA  
INGENIERÍA EN ENERGÍA-SISTEMAS ENERGÉTICOS  
“**ESCENARIOS DE ENERGÍA Y EMISIONES DE  
GASES DE EFECTO INVERNADERO  
PARA MÉXICO AL AÑO 2030**”

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**DOCTOR EN INGENIERIA**

PRESENTA:

**SAMUEL ALEJANDRO MARTÍNEZ MONTEJO**

**TUTORA**

**Dra. Claudia Sheinbaum Pardo**

Miembros del comité tutor:

Dr. José Luis Fernández Zayas (Instituto de Ingeniería)

Dr. Víctor Rodríguez Padilla (Facultad de Ingeniería)

Dra. Alejandra Castro González (Facultad de Ingeniería)

Dra. Eva Margarita Melgar Paniagua (Instituto de Investigaciones Nucleares)

CIUDAD DE MÉXICO (OCTUBRE) 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO**

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| Presidente | Dr. José Luis Fernández Zayas      |
| Secretario | Dr. Víctor Rodríguez Padilla       |
| 1er. Vocal | Dra. Claudia Sheinbaum Pardo       |
| 2do. Vocal | Dra. Eva Margarita Melgar Paniagua |
| 3er. Vocal | Dra. Alejandra Castro González     |

Lugar donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria en Ciudad de México

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:**  
Dra. Claudia Sheinbaum Pardo

---

**FIRMA**

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres la Señora Mirtha Montejo Jiménez, originaria del estado de Tabasco, y a mi padre, el C.P. Samuel Martínez Barrera originario del estado de Hidalgo, por haberme dado la vida un 10 de Mayo de 1981 y brindado siempre su apoyo incondicional.

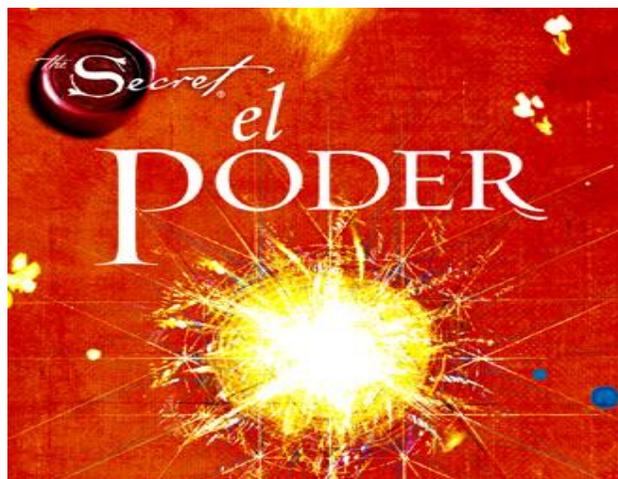
A todas las mentes brillantes que han existido en todas las áreas de las ciencias, humanidades y artes porque a través de ellos se ha proporcionado un mayor nivel de bienestar y comodidad para todos los habitantes de nuestro planeta Tierra.

A Rhonda Byrne por haber puesto en mi mente y mis manos el conocimiento que cambió mi vida, me ha proporcionado muchos momentos de felicidad y me llevará a dónde quiero llegar a estar: El Secreto, El Poder y La Magia.

A mis futuros hijos Zeus, Máximo y Victoria.

A mi futuro esposo.

A mis futuros fans porque ustedes han sido la mayor inspiración para concluir esta etapa de mi vida al sentirlos frente de mí en un enorme escenario.



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente a mi DIOS del Universo por haberme permitido concluir satisfactoriamente este trabajo de investigación a través de mi mentalidad positiva, por demostrarme que lo que construyes día a día con tus sueños y pensamientos llega a materializarse en lo que vives.

A todas las mentes brillantes que han existido en nuestro planeta que han servido de inspiración a toda la humanidad para dejar un legado benéfico como Leonardo Da Vinci, Nicola Tesla, Albert Einstein, Issac Newton, Dr. Mario Molina, entre otros.

A mi tutora principal de tesis, la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo, por haber confiado en mí para realizar este trabajo y brindarme todo su apoyo durante la realización del mismo y por haber contribuido de manera muy importante en la publicación de mi primer artículo científico en la revista "Energy for Sustainable Development".

A todo el personal del Centro para la Investigación en Desarrollo de la Universidad de Bonn en Alemania (Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF) Bonn) en el que realicé mi estancia en el periodo octubre 2015 – abril 2016: mi co-tutor en el Dr. Günter Manske por su apoyo incondicional; al Dr. Guido Lüchters por su apoyo en la parte estadística de la investigación y a Maike Retat-Amin por su apoyo en la logística de mi estancia en Alemania. A todos mis compañeros de la generación 2015 del ZEF Bonn, y en especial a: Melissa Quispe Zúñiga, Gabriel Ponzoni Frey, Nina Pkhikidze, Gabisel Barsallo, Mercy Mashingaidze, Michelle Guanti Lazo, Eeusha Nafi, Rahel Deribe Bekele y Md. Fuad Hassan porque gracias a ellos el invierno 2015 fue más placentero.

A los profesores que formaron parte del jurado para evaluar este trabajo por iluminarme con su luz, conocimientos y experiencia: Dra. Alejandra Castro González, Dr. José Luis Fernández Zayas, Dr. Víctor Rodríguez Padilla, Dra. Blanca Elena Jiménez Cisneros y Dra. Eva Margarita Melgar Paniagua.

Al gobierno federal de México quien, a través del CONACyT, me otorgó una beca para realizar mis estudios de doctorado, incluyendo la beca mixta para realizar mi estancia en Alemania.

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por haberme permitido concluir mis estudios de doctorado, a la Dra. Miriam Rodríguez Rosales y al Maestro Emilio Javier Manrique Ramírez por las aportaciones de información realizadas.

## **PENSAMIENTOS Y FRASES DE LAS MENTES BRILLANTES QUE ME HAN SERVIDO DE INSPIRACIÓN:**

**“La simplicidad es la mayor sofisticación”**

**Leonardo Da Vinci (1452-1519)**

**“El desarrollo progresivo del hombre depende vitalmente de la invención;** es el producto más importante de su cerebro creativo. Su propósito último es el dominio completo de la mente sobre el mundo material, el aprovechamiento de las fuerzas de la naturaleza para las necesidades humanas. Esta es la difícil tarea del inventor, a quien a menudo no se le comprende ni se le recompensa. Pero él encuentra amplia compensación en el agradable ejercicio de sus poderes y en la conciencia de pertenecer a esa clase privilegiada, sin la cual la raza habría perecido hace tiempo en la amarga lucha contra los elementos inclementes”

**Nikola Tesla (1856-1943)**

**“Hay que tener fe en uno mismo.** Ahí reside el secreto. Aun cuando estaba en el orfanato y recorría las calles buscando qué comer para vivir, incluso entonces, me consideraba el actor más grande del mundo. Sin la absoluta confianza en sí mismo, uno está destinado al fracaso”.

**Charles Chaplin (1889-1977)**

**“El secreto de la motivación personal se puede resumir en las cuatro ces:** curiosidad, confianza, coraje y constancia”

**Walt Disney (1901-1966)**

“Toda desventaja, tiene una ventaja asociada a ella”.

S. Alejandro Martínez Montejo (1981-...)

## RESUMEN

Actualmente el mundo enfrenta una crisis climática que se pone de manifiesto con las distintas señales de alteración, como el incremento de temperatura promedio global anual o la intensificación de los fenómenos hidro-meteorológicos. Esta crisis está relacionada con el uso de la energía proveniente de combustibles fósiles, la cual se intensificó desde la revolución industrial, y cuya combustión genera diversos gases de efecto invernadero entre los que se encuentra principalmente el dióxido de carbono; es por ello que organizaciones e instituciones internacionales y gobiernos de varios países han mostrado preocupación y voluntad para reducirlos. Esto ha dado origen al establecimiento de metas de reducción en varios horizontes de tiempo mediante acciones o medidas de mitigación para facilitar la transición hacia sociedades con bajas emisiones de carbono.

En esta investigación se evaluó de manera técnica y económica las siguientes medidas de mitigación aplicables al sector residencial: uso de electrodomésticos eficientes (luminarias, refrigeradores, equipos de aire acondicionado, lavadoras de ropa y televisiones), calentadores solares y sistemas fotovoltaicos para generación eléctrica. Otras tecnologías que fueron evaluadas son: co-procesamiento industrial de neumáticos, uso de autos híbridos y eléctricos, implementación de granjas solares, aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios y en plantas de tratamiento de aguas residuales para generación de electricidad.

Para estimar el impacto en la reducción de gases de efecto invernadero de las medidas de mitigación fue necesario construir el escenario tendencial y de mitigación utilizando la herramienta, creada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, Modelo de Energía y Emisiones para México (MEEM).

Se estimó que el consumo final total de energía para 2030, incluyendo el consumo propio del sector energético, será de aproximadamente 8400 PJ, mismo que generará 630 MtCO<sub>2</sub>eq. Las medidas de mitigación evaluadas pueden reducir, dependiendo de su aplicación, entre 20 y 32 MtCO<sub>2</sub>eq y requerirá inversiones de entre 1.6 y 1.9 billones de pesos a precios de 2015. Esta reducción equivale a 4% de las emisiones estimadas para 2030 o a 2% de las emisiones de la línea base del Programa Especial De Cambio Climático de México, año en el que se debe alcanzar una reducción de 22% con recursos propios.

La aplicación de este conjunto de medidas de mitigación junto con otras, y su adecuada implementación, puede contribuir a alcanzar las metas fijadas.

## ABSTRACT

Nowadays the world is facing a climate crisis that is revealed with the various signs of tampering, such as increasing of global average annual temperature or hydro-meteorological phenomena intensification. This crisis is related to the use of energy from non-renewable sources, was aggravated since the industrial revolution and the combustion of fossil fuels generates various greenhouse gases, among which is mainly the carbon dioxide; that is the reason why international organizations and governments of several countries have shown concern and willingness to reduce them. This has resulted in the establishment of reduction targets within various time horizons through actions or mitigation measures to facilitate the transition towards societies with low carbon emissions.

In this research we evaluated, in a technical and economic way the following mitigation measures applicable to the residential sector: the using of efficient appliances (lighting products, refrigerators, air conditioners, washing machines and televisions), solar water heaters and photovoltaic systems for electricity generation. Other technologies evaluated are: industrial tire co-processing, the use of hybrid and electric cars, solar farms Implementation, biogas in landfills and wastewater treatment plants for electricity generation.

To estimate the impact on reducing greenhouse gases of the mitigation measures, it was necessary to build the baseline and the mitigation scenario by using the tool, created by the Instituto de Ingeniería of the UNAM, "The Model of Energy and Emissions for Mexico (MEEM)".

The total final energy consumption was estimated for 2030, including own consumption of the energy sector, will be approximately 8400 PJ, and it will generate 630 MtCO<sub>2</sub>eq. It is projected that the evaluated mitigation measures can reduce, depending on the rate of application, between 20 and 32 MtCO<sub>2</sub>eq and will require investments of between 1.6 and 1.9 billion Mexican pesos at prices of 2015. This reduction is equivalent to 4 % of the emissions estimated for 2030, or 2% emissions according to the "Special Climate Change Program for Mexico", year in which a reduction of 22% should be achieved with own resources.

By utilizing this set of mitigation measures, together with others and their proper implementation, the targets fixed can be achieved.

## INDICE GENERAL

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | INTRODUCCIÓN.....   | 1  |
| 1.1.   | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 2  |
| 1.1.1. | ENERGÍA Y AMBIENTE.....   | 3  |
| 1.1.2. | ENERGÍA Y DESARROLLO SUSTENTABLE.....   | 4  |
| 1.1.3. | SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL.....   | 5  |
| 1.1.4. | SITUACIÓN ENERGÉTICA EN MÉXICO.....   | 7  |
| 1.1.5. | EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MÉXICO.....  | 9  |
| 1.2.   | LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO.....  | 10 |
| 1.3.   | MITIGACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO.....                                  | 12 |
| 1.4.   | OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN Y ALCANCE.....  | 15 |
| 1.5.   | HIPÓTESIS.....  | 16 |
| 1.6.   | ESTRUCTURA DE LA TESIS .....  | 16 |
| 2.     | MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 17 |
| 2.1.   | REVISIÓN DE LOS MODELOS DE PLANEACIÓN ENERGÉTICA.....                               | 17 |
| 2.1.1. | MODELOS MACROECONÓMICOS .....   | 18 |
| 2.1.2. | MODELOS DE OFERTA O SUMINISTRO ENERGÉTICO.....                                      | 20 |
| 2.1.3. | MODELOS DE DEMANDA ENERGÉTICA.....  | 20 |
| 2.1.4. | PAQUETES MODULARES.....   | 21 |
| 2.1.5. | MODELOS INTEGRADOS.....   | 22 |
| 2.2.   | EL MODELO DE ENERGÍA Y EMISIONES PARA MÉXICO EMPLEADO<br>EN ESTA INVESTIGACIÓN..... | 22 |
| 2.2.1. | ESTRUCTURA DEL MODELO.....  | 24 |
| 2.2.2. | METODOLOGÍA DEL MODELO.....   | 24 |
| 2.2.3. | ENTRADAS DEL MODELO.....  | 28 |
| 2.2.4. | SALIDAS DEL MODELO.....   | 29 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.3.   | MODELO DE SUSTITUCIÓN TECNOLÓGICA DE ELECTRODOMÉSTICOS PARA MÉXICO.....           | 29 |
| 2.3.1. | ESTRUCTURA DEL MODELO.....  | 29 |
| 2.3.2. | METODOLOGÍA DEL MODELO.....   | 30 |
| 2.3.3. | ENTRADAS DEL MODELO.....  | 31 |
| 2.3.4. | SALIDAS DEL MODELO.....   | 32 |
| 2.4.   | SERIES DE TIEMPO APLICADAS A LA INVESTIGACIÓN.....                                | 32 |
| 2.5.   | COSTOS DE MITIGACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO .....                     | 33 |
| 2.5.1. | METODOLOGÍA DE LA ESTIMACIÓN.....   | 34 |
| 2.6.   | CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS EN FUNCIÓN DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO..... | 36 |
| 2.7.   | FORMA DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....  | 39 |
| 3.     | MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS.....   | 40 |
| 3.1.   | SECTOR RESIDENCIAL.....   | 41 |
| 3.1.1. | ILUMINACIÓN.....  | 42 |
| 3.1.2. | REFRIGERADORES.....   | 43 |
| 3.1.3. | LAVADORAS DE ROPA.....  | 44 |
| 3.1.4. | EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.....  | 44 |
| 3.1.5. | TELEVISORES.....  | 45 |
| 3.1.6. | CALENTADORES SOLARES.....   | 45 |
| 3.1.7. | SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....   | 48 |
| 3.2.   | SECTOR TRANSPORTE.....  | 51 |
| 3.2.1. | VEHÍCULOS HÍBRIDOS.....   | 51 |
| 3.2.2. | VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....   | 53 |
| 3.3.   | SECTOR INDUSTRIAL.....  | 54 |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.1. COPROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE NEUMÁTICOS.....                                   | 55 |
| 3.4. GENERACIÓN ELÉCTRICA .....  | 59 |
| 3.4.1. GRANJAS SOLARES.....  | 59 |
| 3.4.2. APROVECHAMIENTO DE BIOGAS EN RELLENOS SANITARIO.....                            | 61 |
| 3.4.3. APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO<br>DE AGUAS RESIDUALES..... | 66 |
| 4. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD.....                                       | 70 |
| 4.1. DEMANDA DE ENERGÍA.....   | 70 |
| 4.2. CONSUMO DE ELECTRICIDAD Y PROYECCIÓN DE GENERACIÓN..                              | 73 |
| 4.3. USOS FINALES DE LA ELECTRICIDAD.....  | 76 |
| 4.3.1. SECTOR RESIDENCIAL.....   | 76 |
| 4.3.2. SECTOR COMERCIAL.....   | 76 |
| 4.3.3. SECTOR AGROPECUARIO .....   | 77 |
| 4.3.4. SECTOR INDUSTRIAL.....  | 77 |
| 4.3.5. SECTOR TRANSPORTE.....  | 77 |
| 4.3.6. SECTOR PÚBLICO.....   | 78 |
| 4.3.7. CONSUMO PROPIO DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO.....                              | 78 |
| 4.4. DEMANDA FINAL DE ELECTRICIDAD.....  | 78 |
| 4.5. ENERGÉTICOS UTILIZADOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA.....                             | 81 |
| 4.6. FACTOR DE EMISIÓN POR GENERACIÓN ELÉCTRICA.....                                   | 83 |
| 5. RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL .....                               | 86 |
| 5.1. CONSUMO DE ELECTRICIDAD.....  | 87 |
| 5.1.1. BASES PARA EL ANÁLISIS.....   | 87 |
| 5.1.2. RESULTADOS.....   | 88 |
| 5.1.3. INFLUENCIA DEL EFECTO REBOTE.....   | 95 |
| 5.2. CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA.....   | 97 |
| 5.3. RESULTADOS GLOBALES DEL SECTOR RESIDENCIAL.....                                   | 98 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 6.       | RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS DEMÁS SECTORES.....                               | 101 |
| 6.1.     | SECTOR COMERCIAL.....   | 101 |
| 6.2.     | SECTOR AGROPECUARIO .....   | 102 |
| 6.3.     | SECTOR INDUSTRIAL.....  | 104 |
| 6.4.     | SECTOR TRANSPORTE.....  | 108 |
| 6.5.     | ENERGÉTICOS UTILIZADOS EN EL SECTOR PÚBLICO.....                                | 111 |
| 6.6.     | CONSUMO PROPIO DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO .....                             | 112 |
| 6.7.     | INTENSIDAD ENERGÉTICA DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO .                          | 115 |
| 7.       | ESCENARIOS OBTENIDOS.....   | 116 |
| 7.1.     | ESCENARIO BASE.....   | 117 |
| 7.1.1.   | ESCENARIOS DEL CONSUMO DE ENERGÍA.....  | 118 |
| 7.1.1.1. | ESCENARIO DE ENERGÍA Y CRECIMIENTO DEL PIB.....                                 | 119 |
| 7.1.1.2. | ESCENARIOS OBTENIDOS CON SERIES DE TIEMPO.....                                  | 120 |
| 7.1.2.   | ESCENARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....                     | 121 |
| 7.2.     | ESCENARIO DE MITIGACIÓN.....  | 124 |
| 7.3.     | EMISIONES DE GEI DE MÉXICO EN EL CONTEXTO MUNDIAL.....                          | 127 |
| 7.4.     | EVALUACIÓN DE COSTOS DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....                          | 128 |
| 7.5.     | BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE<br>MITIGACIÓN .....           | 136 |
| 7.6.     | COMPARACIÓN CON LA ESTRATEGIA DE CAMBIO CLIMÁTICO Y<br>OTRAS PUBLICACIONES..... | 139 |
| 8.       | RESUMEN Y CONCLUSIONES.....   | 143 |
| 8.1.     | RESUMEN DE METODOLOGÍA.....   | 143 |
| 8.2.     | CONCLUSIONES.....   | 143 |
| 8.3.     | LIMITACIONES DEL MODELO DE ENERGÍA Y EMISIONES PARA<br>MÉXICO.....              | 150 |
| 9.       | REFERENCIAS.....  | 152 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                      |  |
|----------------------|--|
| CFE                  | Comisión Federal de Electricidad   |
| CH <sub>4</sub>      | Metano   |
| CO <sub>2</sub>      | Dióxido de carbono   |
| CO <sub>2</sub> eq   | Dióxido de carbono equivalente   |
| CMNUCC               | Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático                                  |
| CONACyT              | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología   |
| CONAE                | Comisión Nacional para el Ahorro de Energía  |
| CONUEE               | Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía  |
| COP                  | Conferencia de las Partes  |
| DAC                  | Tarifa Doméstica de Alto Consumo   |
| ENCC                 | Estrategia Nacional de Cambio Climático  |
| ENE                  | Estrategia Nacional de Energía   |
| FIDE                 | Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica  |
| FIPATERM             | Fideicomiso para el Programa de Aislamiento Térmico  |
| GEI                  | Gases de Efecto Invernadero  |
| GWh                  | Gigawatthora   |
| INE                  | Instituto Nacional de Ecología   |
| INECC                | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático  |
| INEGEI               | Inventario Nacional de emisiones de Gases de Efecto Invernadero                                    |
| INEGI                | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática   |
| IPCC                 | Panel Intergubernamental de Cambio Climático (siglas en inglés)                                    |
| LAERFTE              | Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética |
| LEDs                 | Estrategia de Desarrollo basada en la Reducción de Emisiones (siglas en inglés)                    |
| LFC                  | Lámparas Fluorescentes Compactas   |
| LGCC                 | Ley General de Cambio Climático  |
| MEDEC                | México: Estrategia de Disminución de Emisiones de Carbono  |
| MEEM                 | Modelo de Energía y Emisiones para México  |
| MtCO <sub>2</sub> eq | Millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente  |
| MW                   | Megawatt   |
| N <sub>2</sub> O     | Óxido Nitroso  |
| NAMA's               | Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (siglas en inglés)                                 |
| NOM's                | Normas Oficiales Mexicanas   |
| PAESE                | Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico   |
| PECC                 | Programa Especial de Cambio Climático  |
| PIB                  | Producto Interno Bruto   |
| PJ                   | Petajoules   |
| POISE                | Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico   |
| PRONASE              | Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía                                |
| SEMARNAT             | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  |
| SENER                | Secretaría de Energía  |

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El mundo enfrenta una crisis climática evidente por los distintos fenómenos hidrometeorológicos que se intensifican en cantidad y magnitud año con año. Esta crisis está relacionada directamente con las emisiones de GEI proveniente del uso de combustibles fósiles que provoca que haya un incremento en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y consecuentemente un incremento en la temperatura promedio global.

La CMNUCC establece que las emisiones de GEI deben disminuir lo suficiente para permitir que las concentraciones atmosféricas se establezcan a un nivel que prevendrá la interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático dentro de un marco de tiempo que permita a los ecosistemas adaptarse naturalmente sin amenazar la producción de alimentos y permita el desarrollo económico sostenible (den Elzen, 2005).

Las metas de estabilización de GEI más estrictas implica que muchas naciones subdesarrolladas tienen que tomar obligaciones cuantitativas, aun cuando los países del anexo I del Protocolo de Kyoto (mayoría de los países desarrollados) tomen metas de mitigación ambiciosas más allá de sus obligaciones; este escenario de voluntad política probablemente no será suficiente para limitar el calentamiento de la atmósfera terrestre por debajo de los 2°C que es la meta que se tiene actualmente (den Elzen, 2007).

La COP en su 21ª reunión celebrada en París a finales del año 2015 resultó en un acuerdo global que considera el compromiso para disminuir los niveles de emisión basado en sus responsabilidades históricas, actuales y futuras estableciendo obligaciones conjuntas en las contribuciones determinadas nacionalmente y adquirir medidas domésticas enfocadas a alcanzarlas. México se ha comprometido a una meta muy ambiciosa que consiste en disminuir el 25% de sus emisiones GEI y emisiones contaminantes climáticas de vida corta de manera incondicional por debajo de la tendencia actual o escenario base para el año 2030. Sin embargo, México tiene una LGCC que establece un objetivo de reducción de emisiones de 30% para el año 2020 y 50% para el año 2050 con respecto a los niveles de emisión del año 2000 (INECC, 2016).

La relevancia de la presente investigación es elaborar un plan de mitigación, que abarca varias medidas, para contribuir a lograr la meta establecida mediante el uso de un modelo

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

de estimación de emisiones elaborado por personal del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el tema de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha adquirido una mayor relevancia debido a que su emisión está relacionada con el calentamiento global, ya que los efectos son cada vez más evidentes y cuyo origen se atribuye al consumo de la energía proveniente de combustibles fósiles en los que se basa la matriz energética de la mayoría de los países del mundo. La elaboración de inventarios de emisiones es una actividad muy importante para todos los países, pues de la combustión de los combustibles fósiles provienen la mayoría de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, considerados como los más importantes GEI de origen antropogénico; otros gases clasificados en esta categoría son los Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y el Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

De acuerdo al Protocolo de Kioto, México por ser considerado un país con economía emergente no tiene compromisos de reducción de emisiones, pero tiene la responsabilidad de realizar los inventarios de sus emisiones de GEI y realizar comunicaciones internacionales al respecto. Sin embargo, el gobierno mexicano asumió también el compromiso en la pasada conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, celebrada en París Francia, a mediados de 2015 de tener una economía baja en carbono para mantener la temperatura global por debajo de 1.5 grados centígrados, con apoyo del conocimiento científico y la innovación tecnológica.

Esta investigación se basa en la construcción de escenarios de emisiones utilizando un Modelo desarrollado por la UNAM: el Modelo de Energía y Emisiones para México (MEEM), metodología equivalente a la de realizar inventarios, y cuya utilidad es ser una herramienta para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación que pueden establecerse en nuestro país en materia de emisiones GEI y estimar sus costos, como unidades monetarias por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente evitada, para hacer mejoras a las políticas públicas actuales.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Los escenarios se establecen con las tendencias de crecimiento en las emisiones de GEI de acuerdo a parámetros económicos, como el crecimiento del PIB (alto, bajo y medio crecimiento) para evaluar la intensidad energética y políticas como el establecimiento de normas de eficiencia energética para disminuir el uso de la energía.

## 1.1.1. ENERGÍA Y AMBIENTE

El desarrollo de cualquier sociedad actual es sinónimo con el consumo de energía; ésta es, por tanto, reconocida como un parámetro de entrada crítico para el desarrollo económico nacional. La demanda de energía mundial depende principalmente de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural. En 1980, la demanda total de energía primaria mundial era de sólo 7228 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), pero esta se ha incrementado a 13,541Mtep en 2013(IEA, 2015a). Se esperan incrementos relacionados mayormente en conexión con la creciente industrialización y la demanda energética en los países menos desarrollados, agravada por ineficiencias en todos los países. Los combustibles fósiles proporcionan energía en una forma concentrada y barata, y como resultado dominan el suministro de energía a nivel mundial. La contribución de los combustibles fósiles en el suministro de energía mundial fue de aproximadamente 81.4% en 2013, mientras que el porcentaje restante fue proporcionado por biomasa, hidroenergía y energía nuclear. En 2013 se emitieron a nivel mundial debido a la combustión de los combustibles fósiles un total de 32,190 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, de estos el 41% se debió a la generación eléctrica. Se espera que las emisiones de dióxido de carbono equivalente se incrementen en 46% para el año 2030. El consumo total de energía final en 2013 ascendió a 9,301mtep, de los cuales el 66.5% provino de combustibles fósiles, 18% de la electricidad y el restante 15.5% de fuentes renovables de energía. En 1973 se generaron 6,131TWh de electricidad en el mundo, y en 2013 se incrementó a 23,322TWh, de estos últimos el 67.4% provino de combustibles fósiles, 10.6% de energía nuclear y el restante 22% de fuentes renovables(IEA, 2015b).

La concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera se ha incrementado por varias razones, pero la principal razón es antropogénica, y es debido a los combustibles fósiles. El calentamiento global y la mitigación de los GEI son los asuntos que más atención han adquirido a nivel internacional. Otro aspecto es el incremento

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

gradual progresivo de la temperatura promedio de la superficie terrestre, llamado calentamiento global y es comúnmente descrito como cambio climático, aunque esta es sólo una de las causas que afecta el clima global. Los principales hallazgos del cuarto y quinto informe sobre cambio climático del IPCC son (IPCC, 2007):

- La mayoría de los incrementos observados en las temperaturas promedio globales es muy probable que se deba al incremento observado en las concentraciones de gases de efecto invernadero. Las influencias humanas ahora se han extendido a otros aspectos del clima, incluyendo el calentamiento del océano e incremento de su nivel que afectaría principalmente a los pequeños estados Insulares en vías de desarrollo que no son los que causan el problema de Cambio Climático, pero debido a que éste es un problema ambiental global, son ellos quienes sufren sus consecuencias inmediatas.
- Por los próximos 20 años se espera un calentamiento de cerca de 0.2°C por década para un amplio intervalo de escenarios. Aunque las concentraciones de GEI se mantengan constantes a los niveles del año 2000, se esperaría un incremento de 0.1°C por década.

### **1.1.2. ENERGÍA Y DESARROLLO SUSTENTABLE**

El desarrollo sustentable puede ser definido como vivir, producir y consumir de manera que se satisfagan las necesidades del presente sin comprometer la necesidad de futuras generaciones de satisfacer las suyas propias (Twidell, 2006). El desarrollo energético está dominado por grandes preocupaciones acerca de la contaminación atmosférica, la contaminación del agua, deforestación, pérdida de la biodiversidad y deterioro del clima global. Para prevenir desastres de consecuencias globales sería más difícil con el paso del tiempo llevar a cabo actividades energéticas en gran escala sin asegurar su sustentabilidad, aún en los países en desarrollo en donde hay una prioridad percibida del desarrollo energético y uso de la electricidad sobre el impacto sobre el ambiente, sociedad y más profundamente sobre las propias fuentes de energía. El control a largo plazo del cambio climático y el mantenimiento del clima en niveles seguros requiere una conexión inmediata entre las políticas para el cambio climático y las estrategias de desarrollo sustentable en todos los países.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

En las décadas anteriores se ha observado a nivel mundial una disminución de las reservas de combustibles fósiles; además de que los combustibles fósiles no se están formando de forma significativa en la actualidad y, por lo tanto, las cantidades presentes son finitas. Si la tasa actual de consumo de energía se mantiene, las limitadas reservas de carbón, petróleo y gas natural podrían durar sólo 115, 35 y 53 años, respectivamente (BP Global, 2016). La cantidad de uranio en el mundo es insuficiente para una diseminación masiva para la producción de electricidad (Lior, 2008). Por lo tanto, el tema del desarrollo sustentable se está volviendo más importante, simulando la necesidad de buscar un camino adecuado para lograrlo. Hay dos formas de proveer energía para satisfacer las necesidades humanas:

- El camino difícil o insostenible que continúa con una amplia dependencia en los combustibles fósiles o en la energía nuclear. Esto lleva a problemas serios de contaminación y problemas de disposición de residuos radiactivos.
- El camino sostenible que depende de la eficiencia energética y del desarrollo de las fuentes renovables de energía.

Este último es el camino para minimizar las pérdidas de fuentes primarias de energía sin un riesgo para el clima o el colapso ecológico. Consecuentemente, casi todas las políticas energéticas en todos los países del mundo incluyen algunos de los siguientes factores vitales para mejorar o mantener los beneficios sociales de la energía (Twidell, 2006):

- Incrementar el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.
- Incrementar la eficiencia en la producción y uso de la energía.
- Reducción de la contaminación ambiental.

### 1.1.3. SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL

En 2013 la producción mundial de energía primaria<sup>1</sup> fue de 13,611.8Mtep (Figura 1.1), 2.3% mayor que en 2012. Los países con mayor producción primaria fueron China, Estados Unidos, Rusia, Arabia Saudita e India. México ocupó el decimotercer lugar, con 1.6% de la energía total producida. La producción mundial de energías renovables

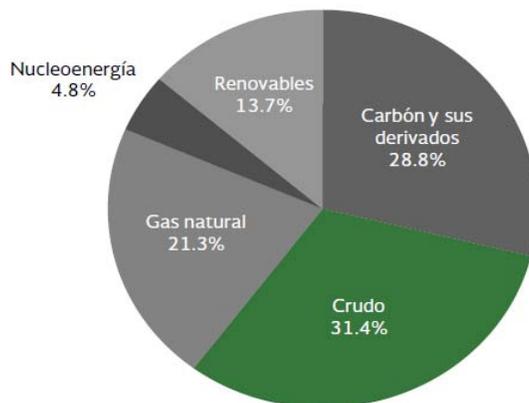
---

<sup>1</sup> La energía primaria comprende aquellos productos energéticos que se obtienen o captan directamente de los recursos naturales sin ningún proceso de transformación involucrado.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

incrementó 3.8%, la de gas natural 2.2% y la nucleoenergía 0.7%; mientras que la producción de petróleo disminuyó 0.2% respecto de 2012 (SENER, 2015a).



**Figura 1.1: Distribución de la producción mundial de energía primaria en 2013. Fuente: (SENER, 2015a)**

Cuando la energía primaria se transforma para hacerla disponible a los usuarios se tiene el consumo de energía final, o simplemente consumo de energía; esta última es menor que la primera debido a que las transformaciones, transporte y distribución, etc., no son procesos 100% eficientes. El consumo mundial de energía creció 2.5% en 2013, al totalizar 9,172.80Mtep (Figura 1.2). Esto se debió principalmente al incremento en el consumo de carbón y sus derivados con 6.2%, al de gas natural con 3.3% y al de electricidad con 3.2%. Los tipos de energía renovable que tuvieron un incremento en su participación fueron la energía solar y la eólica, con 26.35Mtep, cifra 29.5% mayor que la registrada en 2012. La oferta interna bruta de energía per cápita a nivel mundial fue de 1.90 toneladas equivalentes de petróleo (tep) por habitante en 2013, 0.2% mayor que en 2012 (SENER, 2015a).

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

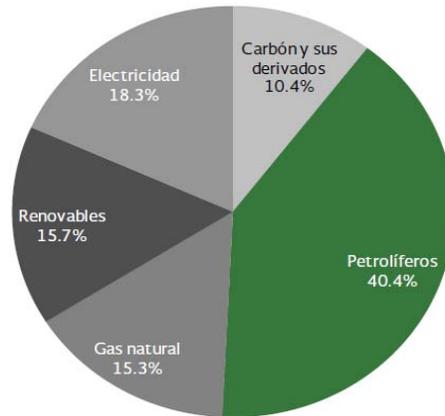


Figura 1.2: Distribución del consumo mundial de energía en 2013. Fuente:(SENER, 2015a).

Por sectores de consumo los 9172 Mtep se distribuyeron como se presenta en la Figura 1.3, colocando al sector industrial como el principal consumidor, seguido del sector transporte y residencial(SENER, 2015a).

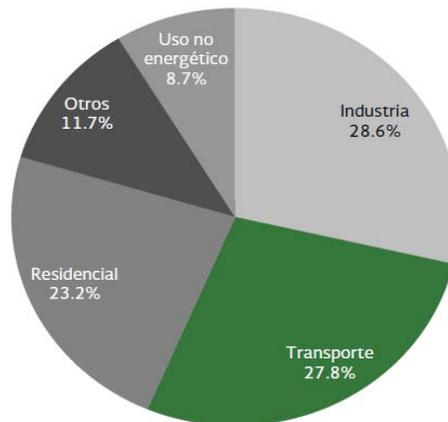
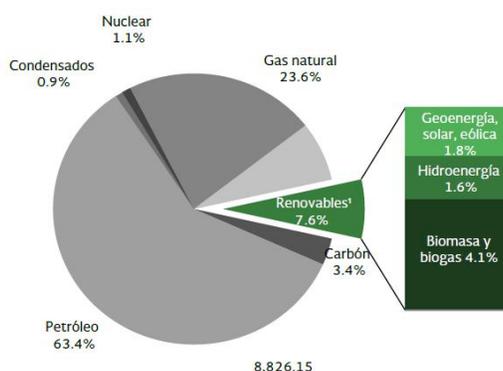


Figura 1.3: Distribución del consumo total mundial de energía por sector. Fuente:(SENER, 2015a).

## 1.1.4. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN MÉXICO

En 2014, la producción nacional de energía primaria totalizó 8,826.15 PJ (210.8 Mtep), un 2.1% menor respecto a 2013. El petróleo es el principal energético utilizado, seguido del gas natural y las energías renovables (Figura 1.4).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030



**Figura 1.4: Estructura de la producción de energía primaria. Fuente: (SENER, 2015a)**

En 2014, el consumo nacional de energía disminuyó 3.6% respecto al año anterior, al totalizar 8,624.26 PJ equivalente a 206 Mtep (Tabla 1.1). Este flujo es el agregado de la energía que se envía a las distintas actividades o procesos para su utilización y principalmente comprende dos divisiones: consumo del sector energético (la energía primaria y secundaria<sup>2</sup> que el sector energético utiliza para el funcionamiento de sus instalaciones) y consumo final total (SENER, 2015a).

**Tabla 1.1: Consumo nacional de energía en PJ y variaciones respecto a 2013. Fuente:(SENER, 2015a)**

|  | 2013     | 2014     | Variación porcentual (%) 2014/2013 | Estructura porcentual (%) 2014 |
|--|----------|----------|------------------------------------|--------------------------------|
| Consumo nacional                         | 8,944.94 | 8,624.26 | -3.59                              | 100                            |
| Consumo sector energético                | 3,014.76 | 2,937.98 | -2.55                              | 34.07                          |
| Consumo transformación                   | 1,796.04 | 1,706.01 | -5.01                              | 19.78                          |
| Consumo propio                           | 1,033.67 | 1,053.24 | 1.89                               | 12.21                          |
| Pérdidas por distribución                | 185.06   | 178.73   | -3.42                              | 2.07                           |
| Consumo final total                      | 5,110.71 | 5,128.01 | 0.34                               | 59.46                          |
| Consumo no energético                    | 190.85   | 232.22   | 21.68                              | 2.69                           |
| Consumo energético                       | 4,919.86 | 4,895.79 | -0.49                              | 56.77                          |
| Recirculaciones y Diferencia estadística | 819.47   | 558.28   | -31.87                             | 6.47                           |

En 2014 el consumo final total de energía, definido como la suma del consumo no energético total y el consumo energético total, mostró un incremento de 0.3% respecto a 2013, totalizando 5,128.01 PJ. Esta cantidad representa la energía que se destina al mercado interno o a las actividades productivas de la economía nacional.

Los sectores en que se distribuye el consumo final total son el transporte (el sector más intensivo en uso de energía) seguido por el industrial, residencial, comercial y público y el agropecuario (Figura 1.5).

<sup>2</sup> Energía secundaria: Se refiere a los derivados de las fuentes primarias, los cuales se obtienen en los centros de transformación, con características específicas para su consumo final.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

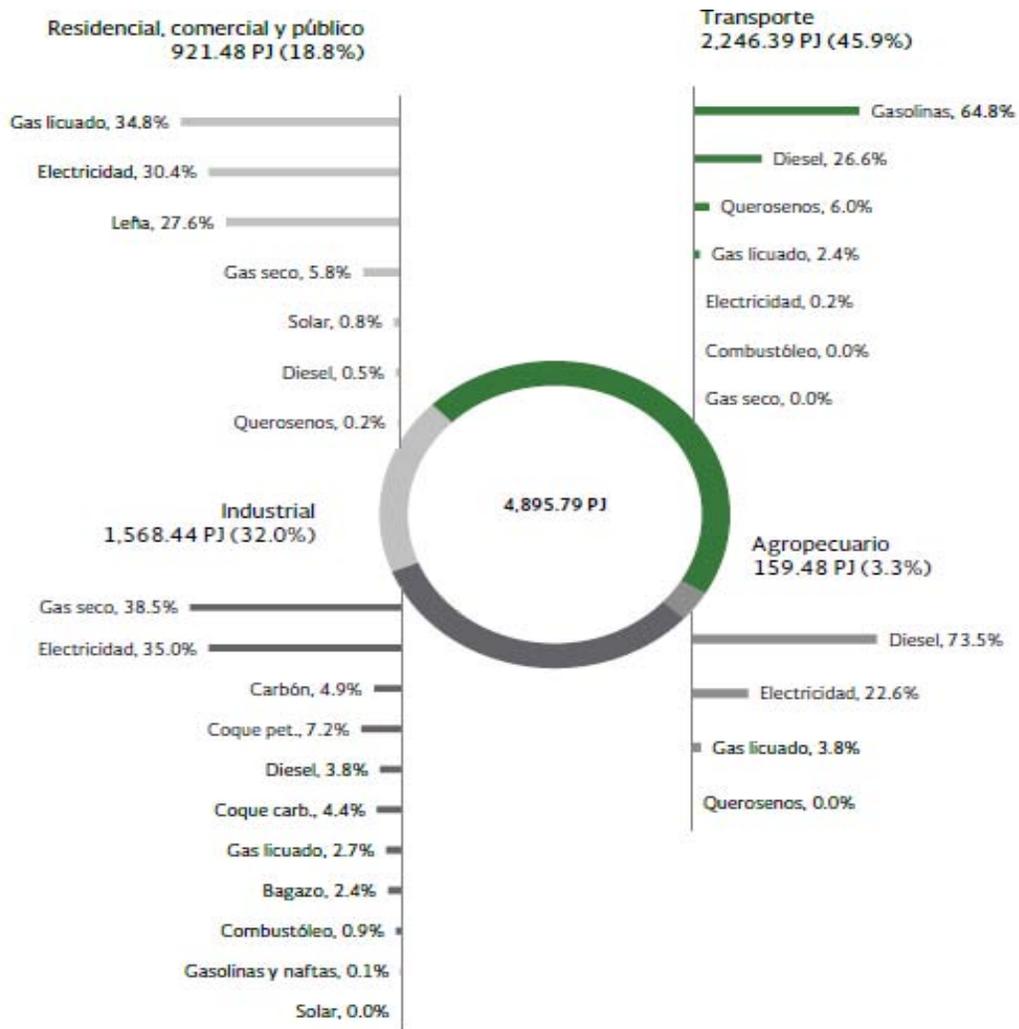


Figura 1.5: Consumo final energético por sector y energético en el año 2014. Fuente: (SENER, 2015a)

## 1.1.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MÉXICO

La eficiencia energética empieza a tomar importancia con la creación en 1989 de la CONAE; como resultado de la entrada en vigor en 2008 de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE), es reemplazada por la CONUEE, con el objetivo de promover la eficiencia energética y funcionar como el órgano técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía para las entidades de la Administración Pública Federal, estados, municipios y particulares.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

En 1989 la CFE creó el PAESE con el objetivo de producir y distribuir energía eléctrica a menor costo, así como promover el uso eficiente en todos los sectores a través de proyectos de eficiencia energética, asesoría técnica, capacitación en ahorro de energía, actividades de evaluación y difusión.

En 1990 se creó el FIDE con la finalidad de impulsar el ahorro de energía eléctrica en los sectores industrial, comercial, servicios y agropecuario, así como el desarrollo de una cultura del uso racional de la energía. Durante el mismo año se creó el FIPATERM como un fondo para el financiamiento del aislamiento térmico en la Ciudad de Mexicali, Baja California. Actualmente este fideicomiso contempla las acciones de sustitución de equipos de aire acondicionado, sustitución de focos por lámparas fluorescentes compactas, aislamiento térmico y sustitución de refrigeradores.

En 1995, la CFE creó el proyecto de Uso Racional de la Iluminación en México (ILUMEX), que concluyó en 1998. El objetivo del proyecto fue reducir la demanda de energía en horas pico mediante el uso de LFC en las ciudades de Guadalajara y Monterrey. Como resultado, se vendieron alrededor de 2.45 millones de LFC, se logró un ahorro de energía eléctrica de 302GWh y se evitó la emisión de 233 mil toneladas de CO<sub>2</sub>. ILUMEX recibió en 1999 por parte del gobierno de Noruega y del Banco Mundial, el primer certificado de reducción de emisiones a nivel internacional (SENER, 2014a).

Otra acción que fomenta la eficiencia energética es el “Sello FIDE” que se le otorga a los productos que cumplen o superan el desempeño establecido en las NOM’s de eficiencia energética correspondientes. A 2012 se tenían registrados 3,497 modelos de productos de alta eficiencia energética con el sello. Derivado de todas las acciones realizadas por el FIDE desde su creación y hasta el año 2012, se han ahorrado cerca de 17,000 GWh en consumo y 3,500MW en demanda(SENER, 2015b).

### **1.2. LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO**

La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera está aumentando desde finales del siglo XIX y el ritmo de aumento se aceleró a finales del siglo XX, pasando de 0,5 ppm/año en 1960 a 2 ppm/año en el año 2000 (valor mínimo de 0,43 en 1992 y máximo de 3 ppm en 1998).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Desde el 2000, la tasa anual de aumento apenas ha cambiado. A este ritmo, la última medición de la NASA registrada en mayo de 2016 dio un total de 403ppm(NASA, 2016).

Para afrontar este problema, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha venido tomando una serie de acciones; por ejemplo, en 1988 se creó el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) que es una organización de científicos de todo el mundo establecida conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas. Desde 1992 esta organización, a la que pertenecen más de 2000 científicos del mundo, ha sido un importante apoyo para la elaboración de las políticas internacionales(UNSW, 2009).

En 1994, se creó la CMNUCC (UNFCCC, por sus siglas en inglés) para promover respuestas internacionales al cambio climático. Esta organización tiene una reunión anual llamada la COP. Como eje central para la mitigación de las emisiones de GEI, en 1997 fue propuesto por la CMNUCC el Protocolo de Kioto, el cual entró en vigor en 2005; este protocolo estableció responsabilidades comunes pero diferenciadas de acuerdo a las emisiones de GEI de los diversos países mediante límites de emisión en promedio 5% menores a los de 1990, en el año 2012, para los países industrializados (Anexo 1 del protocolo de Kioto). Para apoyar esta reducción, puso en marcha diversos mecanismos de mercado tendientes a apoyar la reducción de emisiones de carbono; como la implementación conjunta y el mecanismo de desarrollo limpio (MDL o CDM, por sus siglas en inglés)(UNFCCC, 2015).

México no tiene compromisos de reducción de emisiones de GEI dentro del protocolo de Kioto; sin embargo, ha venido cumpliendo con los compromisos de elaborar los inventarios de emisiones de GEI y las comunicaciones internacionales. Así mismo, ha sido beneficiario de diversos proyectos dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Recientemente se publicó la ENCC y posteriormente el PECC, donde se establecen escenarios de reducción de emisiones de GEI. Existen también algunos estudios que orientan al potencial de reducción de emisiones para México, como el reporte Estrategias de Disminución de Emisiones de Carbono (MEDEC)(Johnson, 2009)

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

En México el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 2009 y elaborado por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, conformada por los titulares las Secretarías de Relaciones Exteriores, Desarrollo Social, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Energía, Economía, Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación y Comunicaciones y Transportes (SEGOB , 2015). Su objetivo principal fue el de establecer mediante un documento las metas del país en el tema de Cambio Climático para la COP 15 a celebrarse ese año en Copenhague. El PECC está dividido en cuatro capítulos: La visión de largo plazo, con sus sub-secciones de mitigación y adaptación al cambio climático; la mitigación, la adaptación y elementos de política transversal. En la visión de largo plazo en el tema de mitigación, el documento señala una cifra de reducción deseable de las emisiones de GEI para México de 50% para el 2050, respecto al 2000. Además establece que las emisiones mexicanas tendrían que alcanzar un punto de inflexión durante la segunda década de este siglo, para después descender paulatinamente hasta alcanzar el nivel indicado en 2050 (SEGOB , 2015).

El 6 de junio de 2012 se publicó la Ley General de Cambio Climático que explicita y extiende las responsabilidades de los tres órdenes de gobierno en materia de adaptación y mitigación y formaliza las metas de reducción de emisiones para los años 2020 y 2050; y la cual, en su título tercero, artículo 13, menciona la creación del INECC con el propósito de coordinar las acciones llevadas a cabo al respecto.

### **1.3. MITIGACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO**

El PECC no presenta claramente las cifras de las emisiones por sectores para los diversos años, ni para el escenario tendencial ni para el escenario de mitigación. Solamente especifica los valores totales (Figura 1.6). Por otro lado, el PECC no explica con base en qué metodología fueron estimados los escenarios.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

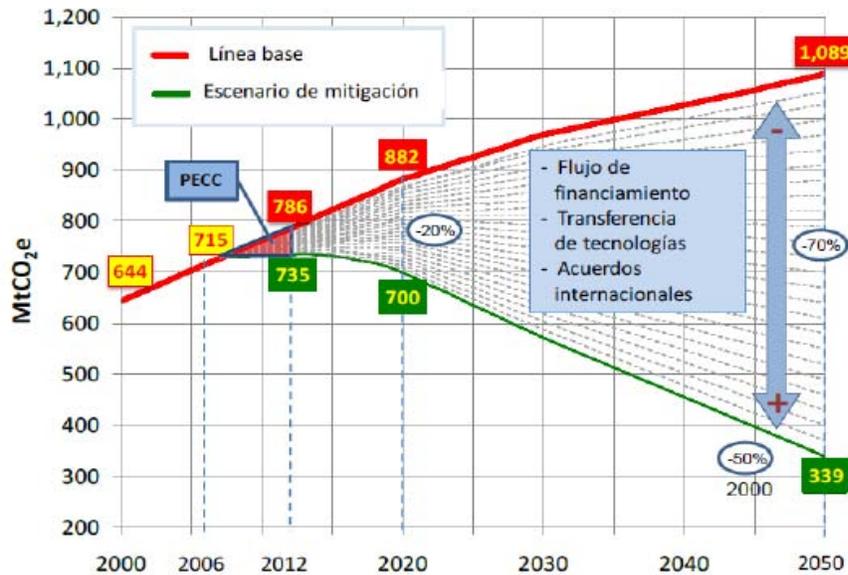


Figura 1.6: Trayectorias centrales de México de las emisiones tendenciales 2000–2050 y de las reducciones requeridas en el escenario de mitigación de acuerdo con el PECC. Fuente: (SEGOB , 2015)

En 2009 se publicó por parte del Banco Mundial un estudio denominado “México, estudio sobre la disminución de las emisiones de carbono” (MEDEC) que procura identificar y evaluar las opciones de bajo costo para reducir las emisiones de GEI que México puede implementar en el corto y mediano plazo (Johnson, 2009). Los objetivos específicos comprenden los siguientes aspectos:

- Evaluar las intervenciones de bajas emisiones por parte de los sectores clave en México, utilizando una metodología común de análisis costo-beneficio e identificar las barreras que impiden la implementación de dichas intervenciones.
- Preparar un escenario de bajas emisiones para México hasta el año 2030 basado en el potencial y los costos de las intervenciones de mitigación en los distintos sectores.
- Identificar las políticas prioritarias que servirían de soporte para un desarrollo de bajas emisiones, incluyendo un portafolio de intervenciones de bajas emisiones que se pueda implementar ahora y dentro de los próximos 5-10 años.

El estudio MEDEC se basa en la (ENCC) y en el programa de desarrollo de bajas emisiones esbozado en la Tercera Comunicación Nacional de México del año 2001 con el propósito de proveer las herramientas para evaluar y priorizar las intervenciones y políticas de bajas emisiones en México. El estudio evalúa una amplia gama de actividades

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

potenciales de bajas emisiones, comparando los resultados con las distintas experiencias a nivel internacional e identificando las ventajas estratégicas y competitivas del desarrollo de bajas emisiones para México, incluyendo las oportunidades para un mayor acceso al mercado del carbono y otros recursos para la mitigación del cambio climático. En este estudio se seleccionaron cuarenta intervenciones, muchas de ellas involucran a varios sectores u ocurren en un sector pero tienen efectos en otros sectores. En particular, varias intervenciones en los sectores industrial, petróleo y gas, y agrícola y forestal generan electricidad y por consiguiente mitigan la producción de GEI en el sector eléctrico. Estas intervenciones se enlistan en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2: Medidas de mitigación propuestas en el MEDEC. Fuente: (Johnson, 2009)**

| Sector                     | Medidas de mitigación propuestas   |
|----------------------------|--|
| Electricidad               | Uso de energía eólica, biogás, y geotermia; construcción de pequeñas hidroeléctricas e incremento de la eficiencia en generación eléctrica.  |
| Petróleo y gas             | Cogeneración en PEMEX, rehabilitación de refinerías, reducción de fugas en transporte de gas.  |
| Uso final de la energía    | Cogeneración con bagazo de caña y en industrias, uso de aire acondicionado residencial, iluminación residencial, alumbrado público, iluminación y aire acondicionado en edificios no residenciales, refrigeración residencial, calentamiento solar de agua, estufas mejoradas de leña y sustitución de motores industriales. |
| Transporte                 | Densificación urbana, sistemas de transporte tipo BRT (Bus Rapid Transit), transporte no motorizado, optimización de rutas de transporte público, norma vehicular, verificación vehicular en 21 grandes ciudades, verificación vehicular fronteriza, logística de carga por carretera y carga por ferrocarril.               |
| Agricultura y silvicultura | Generación de electricidad con biomasa, co-combustión con leña, producción de carbón vegetal, maíz con labranza cero, reforestación y restauración, plantaciones y manejo de vida silvestre (UMA), manejo forestal, pago por servicios ambientales, biodiesel de palma, etanol de sorgo y etanol de caña.                    |

Para la COP 21, celebrada en París, Francia, en diciembre de 2015, la contribución de México tuvo dos componentes, uno de mitigación y otro de adaptación. El componente de mitigación contempla dos tipos de medidas: las no condicionadas (que se refieren a aquellas que el país puede solventar con sus propios recursos), en las cuales se plantea la reducción de 22% de las emisiones de gases de efecto invernadero en 2030 con respecto a la línea base; y las medidas condicionadas, que requieren del establecimiento de un nuevo régimen internacional de cambio climático en el cual México puede obtener

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

recursos adicionales y lograr mecanismos efectivos de transferencia de tecnología para una reducción de emisiones de hasta 58%(INECC, 2016).

## 1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN Y ALCANCE

### Objetivo general

Estimar escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados a la producción y consumo de energía en México considerando los sectores residencial, agropecuario, comercial, público, industrial, transporte y el consumo propio del sector energético mediante el empleo del Modelo de Energía y Emisiones para México, para evaluar el impacto en su mitigación de diversas tecnologías de uso eficiente y fuentes renovables de energía.

### Objetivos específicos

- Estimar un escenario de energía y emisiones tendencial o base para el año 2030 empleando el MEEM que considere las medidas de reducción que ya se llevan a cabo en México, para posteriormente estimar la reducción de emisiones por la implementación de nuevas medidas de mitigación; mismas que abarcan las siguientes áreas: iluminación residencial, sustitución de refrigeradores, lavadoras, equipos de aire acondicionado y televisiones en el sector residencial, co-procesamiento industrial de neumáticos en cementeras, uso de autos híbridos y eléctricos, uso de calentadores solares y sistemas fotovoltaicos, granjas solares, uso de biogás en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales para generación eléctrica.
- Evaluar la implementación de las medidas de mitigación en la reducción de emisiones GEI mediante el uso del MEEM para construir el escenario de mitigación.
- Estimar los costos y reducción de emisiones GEI obtenidas con las medidas de mitigación mediante el uso del MEEM para la obtención de una curva de abatimiento de costos marginales.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- Encontrar las barreras que existen para la implementación de las medidas de mitigación mediante el análisis de la información obtenida en la investigación para proponer las acciones correctivas correspondientes.
- Construir un modelo de sustitución tecnológica mediante la consideración de las variables necesarias y el paquete de cómputo de Excel para estimar la tasa de sustitución y el consumo ponderado de electricidad por uso de electrodomésticos en el sector residencial mexicano.

## 1.5. HIPÓTESIS

Las medidas de mitigación propuestas conseguirán reducir las emisiones de GEI en una cantidad tal que México podrá cumplir con la meta asumida en la COP 21 de 22% por debajo de la línea base con recursos propios.

## 1.6. ESTRUCTURA DE LA TESIS

En el capítulo 2 se presenta la metodología llevada a cabo en la investigación, incluyendo la manera en que se realizan las estimaciones utilizando el modelo de Energía y Emisiones para México (MEEM) y el Modelo de sustitución tecnológica para México (MSTM). En el capítulo 3 se explican las medidas de mitigación propuestas. En el capítulo 4 se presenta la proyección de demanda de electricidad, fuente de energía que se utiliza en todos los sectores energéticos analizados de manera similar al Balance Nacional de Energía y las estadísticas energéticas nacionales. En el capítulo 5 se presentan y analizan los resultados obtenidos con los modelos utilizados para la construcción de los escenarios en el sector residencial. En el capítulo 6 se presentan y analizan los resultados para los demás sectores energéticos y el consumo propio. En el capítulo 7 se presentan los escenarios para el consumo de energía en México y sus respectivas emisiones de GEI, se estiman los costos y se determinan las barreras y acciones correctivas para la implementación de las medidas de mitigación. Finalmente en el capítulo 8 se presenta el resumen y las conclusiones de esta investigación.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. REVISIÓN DE LOS MODELOS DE PLANEACIÓN ENERGÉTICA

La planeación energética es una tarea importante tanto para los gobiernos como para las agencias internacionales, se apoya en la toma de decisiones con respecto al desarrollo nacional e internacional. La disciplina de la planeación energética data de 1960 (Nguyen, 2005), cuando se llevaron a cabo los estudios enfocados en el suministro de energía. En ese tiempo, las metodologías de planeación se enfocaban en diferentes aspectos como el costo, daños ambientales o la seguridad energética. Después de la crisis petrolera de principios de 1970s, la planeación energética se volvió muy importante, especialmente para los responsables de las políticas; solo después de ella se puso la suficiente atención a la evaluación crítica de las fuentes de combustibles, uso racional y conservación de las mismas, y la planeación a largo plazo (Mathur, 2001). Además de esto, la Cumbre de la Tierra de la ONU, realizada en Río de Janeiro en 1992, desencadenó que se realizaran estudios sobre el tema de las emisiones de GEI. Esto se debió principalmente a que el reporte del IPCC en 1995 concluyó que las emisiones de dióxido de carbono causaban un notable impacto al ambiente. Después siguieron discusiones intensas y debates, y se formuló una legislación para las metas de reducción de emisiones establecidas en el Protocolo de Kyoto. Este compromiso y los acuerdos a los que se ha llegado en las Conferencias de las Partes (COP) han creado la necesidad para nuevos modelos de planeación energética que consideren los problemas ambientales. Por lo tanto, además de los modelos separados para los estudios ambientales pertenecientes a la evaluación de impactos ambientales, proyección y mitigación, los modelos de planeación energética fueron expandidos para cubrir los impactos causados por la generación eléctrica.

Los modelos de planeación energética difieren mucho uno de otro en su propósito, estructura (consideraciones internas y externas), aproximación analítica (top-down (de arriba hacia abajo) o bottom-up (de abajo hacia arriba)), metodología de estudio, aproximación matemática, cobertura geográfica, cobertura sectorial, horizonte de tiempo y datos requeridos (Figura 2.1).

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

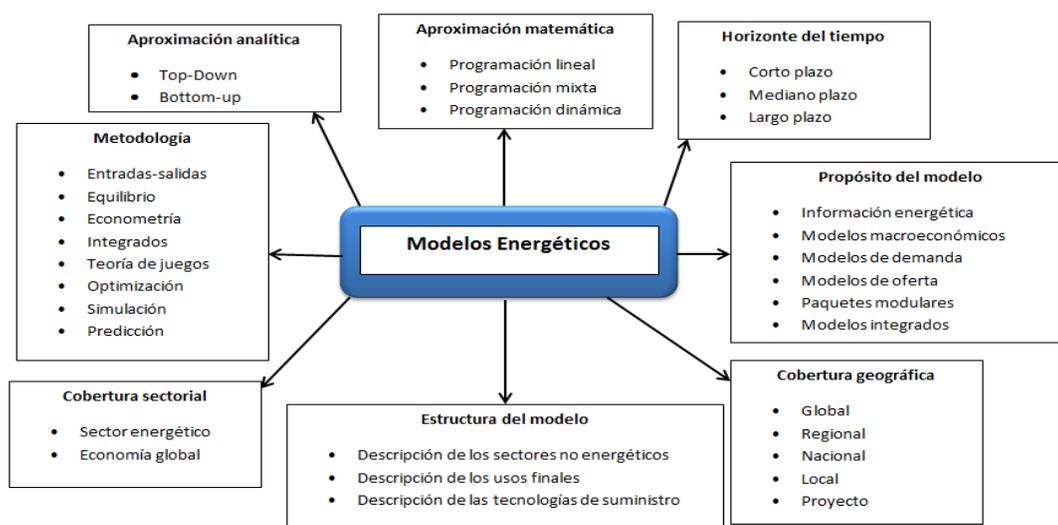


Figura 2.1: Criterios para la clasificación de los modelos de planeación energética. (Nguyen, 2005)

Los modelos de economía energética se usan para el análisis de políticas energéticas y ambientales (Tabla 2.1). Los modelos más importantes que han evolucionado en el área de planeación energética-ambiental son los modelos macroeconómicos, de demanda energética, modelos de suministro, paquetes modulares y modelos integrados.

Tabla 2.1: Clasificación de los modelos de economía energética. Fuente:(Pandey, 2002).

| Paradigma                                   | Espacio                   | Sector                  | Tiempo                     | Ejemplos  | Asunto tratado   |
|---|---------------------------|-------------------------|----------------------------|---|--|
| Simulación de arriba hacia abajo            | Global, Nacional          | Energía, Macroeconómico | Largo plazo                | Evaluación integrada (Ej., AIM y modelos de equilibrio en general), modelos de entradas-salidas, modelos de dinámicas de sistemas (Ej. FOSSIL2) | Impacto de las medidas mercantiles y políticas de comercio sobre costos en la economía y en las emisiones globales y nacionales  |
| Conteo y optimización de abajo hacia arriba | Nacional, Regional        | Energía                 | Largo plazo                | Modelos de optimización (Ej. MARKAL, EFOM) y conteo (Ej., LEAP).  | Impacto de las medidas mercantiles y otras políticas (Ej., regulaciones) en la mezcla de tecnologías, mezcla de combustibles, emisiones y costos para el sistema energético; capacidad en la planeación de inversiones |
| Conteo y optimización de arriba hacia abajo | Nacional, regional, local | Energía                 | Mediano plazo, corto plazo | Modelos sectoriales de usos finales (Ej. , AIM/ "End use"), sector eléctrico, modelos del sector carbón.  | Impacto de las políticas sectoriales en la mezcla de tecnologías sectorial, mix de combustibles, costos y emisiones; planeación para el mix de generación eléctrica; y logística.                                      |

## 2.1.1. MODELOS MACROECONÓMICOS

Existen distintas formas de analizar las relaciones entre consumos de energía y variables económicas como la producción y los precios. En este sentido existen

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

enfoques metodológicos alternativos para analizar estas relaciones. Por un lado existe el enfoque más asociado a los modelos conocido como “bottom up”, que disponen de una fuerte base de ingeniería y donde en muchos casos se especifican los requerimientos de equipos y maquinarias para determinar el consumo energético (O’Ryan, 2016). Por otro lado, existen los modelos económicos que se conocen como “top-down” de corte más macroeconómico. La tabla 2.2 muestra comparativamente características de ambas categorías de modelos.

**Tabla 2.2: Comparación entre los modelos Top-down y Bottom-up. Fuente: (O’Ryan, 2016).**

| Top-down  | Bottom-up  |
|---|--|
| Usan datos económicos agregados   | Usa datos detallados en combustibles, tecnologías y políticas  |
| Evalúan costos/beneficios a través de impactos en producción, ingreso del PIB | Evalúa costos/beneficios de tecnologías y políticas individuales   |
| Generalmente asume eficiencia de mercados                                     | No necesariamente asume eficiencia de mercados, sobrepasar barreras de mercado puede resultar en ahorros energéticos costo efectivos |
| Captura retroalimentación e interacciones intersectoriales                    | Captura interacciones entre proyectos y políticas  |
| No es un enfoque adecuado para examinar políticas tecnológicas específicas    | Utilizado para evaluar costos y beneficios de programas  |

Los modelos macroeconómicos resuelven preguntas sobre cómo el precio y disponibilidad de energía tienen influencia en la economía en términos del PIB, empleo y la tasa de inflación y viceversa. Estos modelos tienen un módulo macroeconómico integrado relacionado con un módulo de suministro de energía del tipo Bottom-up. Existen dos ejemplos de esta categoría: MACRO y ETA-MACRO.

MACRO: Este modelo fue desarrollado por el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas aplicados (IIASA por sus siglas en inglés). Abarca dos aspectos (producción y consumo) para proyectar el crecimiento económico a largo plazo y tiene once versiones regionales; es ampliamente usado para analizar el tamaño de la economía, flujos de inversión, demanda de energía, productos no energéticos y pagos inter-industriales. La fortaleza de este modelo es que trata la economía de las regiones del mundo de una manera integrada y estima la demanda energética. Su debilidad es que el modelo tiene poca resolución de las opciones tecnológicas (O’Ryan, 2016).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

ETA-MACRO: Es un modelo de equilibrio general que comprende la evaluación tecnológica energética (ETA), está acoplado con un modelo de crecimiento macroeconómico (MACRO). El modelo usa una optimización no lineal; la demanda energética y sus costos reciben una retroalimentación y son modificados con base en la información de los modelos económicos y su estructura permite interactuar con la macroeconomía de una región o país.

### **2.1.2. MODELOS DE OFERTA O SUMINISTRO ENERGÉTICO**

Los modelos de oferta o suministro de energía son enfocados en la determinación de las opciones tecnológicas de menor costo para que el sistema de generación de energía satisfaga cierta demanda sujeta a distintas limitaciones. Este modelo generalmente usa un método de optimización o simulación, donde la optimización es basada comúnmente en la programación lineal o no lineal. Algunos de estos modelos se extienden para incluir aspectos de la demanda energética y otros contienen características adicionales para estimar los impactos del sistema energético planeado, incluyendo emisiones, aspectos sociales y económicos. Ejemplo de estos modelos son: MARKAL, MESSAGE, POLOES y WASP(Pandey, 2002).

MARKAL: La única característica de este modelo es que resuelve el sistema energético como un programa lineal multi-periodo; de aquí que sea llamado una herramienta de programación lineal. La solución satisface un conjunto especificado de demandas de servicios de energía, minimizando el total de los costos marginales del sistema. Un número de tecnologías compiten para satisfacer la demanda y suministro de energía establecidos. MARKAL ha sido adoptado en estudios energéticos y ambientales de más de 70 países y es uno de los modelos energéticos más usados en el mundo(Pandey, 2002).

### **2.1.3. MODELOS DE DEMANDA ENERGÉTICA**

Los modelos de demanda energética son construidos para pronosticar la demanda de energía, ya sea para la economía entera o para un cierto sector. Entre los modelos de demanda energética los modelos tecno-económicos están muy difundidos, pero también

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

se usan los modelos económicos. El modelo representativo de demanda energética es el MAED (Modelo para el Análisis de la Demanda Energética) que es un modelo de simulación diseñado para evaluar la demanda energética a mediano y largo plazo en un país o región. El modelo fue desarrollado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés). El modelo ofrece un acercamiento a los aspectos macro, demanda y balance para estimar la demanda de energía y electricidad. La salida del modelo consiste en una estimación detallada de las formas de energía usadas para cada sector en cada año seleccionado (Rostamihozori, 2001).

### 2.1.4. PAQUETES MODULARES

Estos paquetes constan de diferentes tipos de modelos como un componente macroeconómico, uno de oferta de energía, y otro de balance de demanda, uno de demanda energética solo, etc., que están integrados dentro de un paquete. El usuario no necesita correr todos los modelos, pero puede seleccionar sólo un aspecto dependiendo de la naturaleza del análisis a desarrollar. Algunos de los paquetes más conocidos son el LEAP, ENPEP y MESAP.

LEAP: El Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Alcance (LEAP, por sus siglas en inglés) es una herramienta de modelación que puede ser usada para rastrear el consumo de energía, producción de energía y extracción de recursos en todos los sectores de la economía. El modelo fue desarrollado en 1980 en los Estados Unidos y es actualmente mantenido por el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI por sus siglas en inglés). LEAP es comúnmente usado para analizar los sistemas energéticos nacionales; funciona usando periodos de tiempo anuales, pero el horizonte de tiempo se puede extender por un número ilimitado de años (usualmente 20 o 50). El modelo se apoya en un gran número de metodologías de modelación. En el lado de la demanda estas metodologías abarcan desde bottom-up, usos finales hasta modelaje macroeconómico top-down. En el lado de la oferta, el LEAP provee un amplio rango de conteos y metodologías de simulación para modelar la generación eléctrica y la planeación de la capacidad de expansión (Connolly et al, 2010).

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## **2.1.5. MODELOS INTEGRADOS**

Los modelos integrados consisten en una serie de ecuaciones integradas que se resuelven simultáneamente. Estas herramientas usualmente cubren las interacciones energía-economía-ambiente. Algunos de los modelos bien conocidos de esta categoría son: AIM, IMAGE 2.0 y PERSEUS(Pandey, 2002).

AIM: El Modelo Integrado de Asia Pacífico (AIM, por sus siglas en inglés) es un modelo de gran escala para análisis de escenarios de emisiones de GEI y los impactos del calentamiento global en la región de Asia-Pacífico. El modelo fue creado para examinar las medidas en respuesta al calentamiento global en esta región, pero está conectado con un modelo mundial para también hacer estimaciones. El modelo comprende tres módulos principales: el modelo de emisiones de GEI, el modelo de cambio climático global y el modelo del impacto del cambio climático. Los modelos Bottom-up pueden reproducir procesos detallados del consumo de energía, producción industrial, cambios de uso de suelo y manejo de desperdicios, así como desarrollo de tecnologías y cambios sociales por la demanda de energía; por otro lado, los modelos top-down pueden estimar interacciones entre la energía y el sector económico, y entre los cambios de uso de suelo y el sector económico. Los componentes del Bottom-up del AIM están integrados por dos modelos Top-down a través de un módulo de enlace. Esta nueva estructura maximiza la habilidad para simular una variedad de entradas a una variedad de niveles y para estimar las futuras emisiones de GEI en un intervalo de análisis (Mathur, 2001).

## **2.2. EL MODELO DE ENERGÍA Y EMISIONES PARA MÉXICO EMPLEADO EN ESTA INVESTIGACIÓN**

Este modelo es perteneciente a la clasificación de paquetes modulares presentada en el apartado anterior, fue creado por el grupo de energía y ambiente del Instituto de Ingeniería de la UNAM y se ha utilizado para la evaluación de escenarios de emisiones de GEI y contaminantes locales tanto a nivel nacional como local(Sheinbaum et al, 2011). Éste puede definirse como un modelo de simulación contable de usos finales, que estima el consumo de energía y emisiones a partir de la demanda para diversos escenarios tecnológicos y analiza la diferencia en emisiones y costos financieros asociados a un

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

escenario base y a escenarios de mitigación de GEI. El MEEM tiene sus orígenes en el modelo STAIR desarrollado en el Lawrence Berkeley National Laboratory (Sathaye & Ketoff , 1991) y es similar al modelo DEFENDUS desarrollado en la India (Reddy, 1995) y al modelo LEAP. El MEEM refleja una concepción “de abajo hacia arriba” de la relación entre los servicios, la tecnología, la transformación y la oferta energética.

Para cualquier modelo, la construcción de uno o varios escenarios debe partir de lo que se llama las emisiones o el inventario de emisiones para el escenario base. Se analizó la tendencia histórica de los datos con datos reales para el periodo 1993-2014 (debido a que en el momento de la escritura de esta tesis, año 2016, sólo se dispone de datos energéticos oficiales hasta 2014), a partir de 2015 y hasta 2030 se realizarán estimaciones. Con los datos obtenidos se construirá el escenario base considerando las emisiones futuras de acuerdo con las tendencias observadas, acciones de mitigación que ya habían sido concertadas previo al año base y con hipótesis exógenas (que son variables establecidas fuera del modelo). Las hipótesis exógenas se refieren a variables como el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), la estructura del PIB, el crecimiento de la población, viviendas particulares habitadas y que, dependen de la tendencia histórica y suposiciones externas. El escenario base será la proyección a partir de la cual podrán determinarse escenarios de reducción o mitigación de emisiones.

El escenario de mitigación se construye a partir del escenario base, pero considerando la incorporación acelerada de tecnologías de uso eficiente de la energía y de fuentes renovables de energía; ya que cada acción de mitigación representa una reducción de emisiones frente al escenario base. La estimación de la reducción de emisiones del escenario de mitigación, así como sus costos, se hará explícita en una comparación frente al escenario tendencial o base.

En el caso del MEEM los escenarios de mitigación están relacionados con un escenario base que refleja intensidades energéticas constantes, y en adición al modelo STAIR, el MEEM incluye opciones en la transformación y suministro de la energía, así como la diferencia en el costo nivelado entre el escenario base y el de mitigación.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 2.2.1. ESTRUCTURA DEL MODELO

Este modelo está construido para analizar los distintos sectores energéticos de acuerdo a las estadísticas presentadas por la Secretaría de Energía: residencial, comercial, agropecuario, industrial, transporte, público y consumo propio. Esto con el propósito analizar la demanda de energía desde los usos finales en el caso del sector residencial y transporte (sólo para la categoría de autotransporte), es decir, siguiendo la metodología bottom-up. Sin embargo, en el caso de los demás sectores la metodología que se sigue es la del tipo top-down. Una aplicación muy importante que tiene este modelo es que una vez estimada la demanda de energía en todos los sectores es posible estimar la demanda y consumo de electricidad en el futuro; posteriormente, estos parámetros pueden compararse con las prospectivas del sector eléctrico.

## 2.2.2. METODOLOGÍA DEL MODELO

El MEEM está construido para analizar los distintos sectores energéticos de acuerdo a las estadísticas presentadas por la Secretaría de Energía: residencial, comercial, agropecuario, industrial, transporte, público y consumo propio. Esto con el propósito analizar la demanda de energía desde los usos finales en el caso del sector residencial y transporte (sólo para la categoría de autotransporte), es decir, siguiendo la metodología bottom-up. Sin embargo, en el caso de los demás sectores la metodología que se sigue es la del tipo top-down. Una aplicación muy importante que tiene este modelos es que una vez estimada la demanda de energía en todos los sectores es posible estimar la demanda y consumo de electricidad en el futuro.

Para estimar el uso de energía en cada sector en términos formales se emplea la ecuación 1, donde  $E_{it}$  es la demanda de energía por energético o combustible, " $A_{it}$ " es el nivel agregado de actividad en el sector " $i$ " en el año  $t$ , " $S_{ijkt}$ " ( $j= 1,2,\dots,n$ ) y  $k$  ( $k=1,2,\dots,m$ ) los niveles de la actividad específica o estructura " $j$ " para cada energético  $k$ ; e " $l_{ijkt}$ " la intensidad energética de la actividad específica  $j$  para el energético  $k$ . En la tabla 2.3 se presentan los parámetros considerados en cada sector.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

$$E_{it} = A_{it} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m S_{ijkt} I_{ijkt} \dots\dots\dots (1)$$

Y la demanda total de energía en cada sector o en el año t ( $E_T$ ), es la suma de la demanda de los diferentes energéticos o sectores i (i= 1,2.....s), y es estimada utilizando la ecuación 2.

$$E_T = \sum_{j=1}^s E_{it} \dots\dots\dots (2)$$

Para la estimación de gases de efecto invernadero, la fuente es la Guía 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero elaborado por el IPCC.

**Tabla 2.3: Parámetros considerados por sector en la ecuación 1. Fuente: (Goldenberg et al, 1987),(Reddy, 1995).**

| Sector              | Actividad   | Estructura  | Intensidad   |
|---------------------|---|---|--|
| Residencial         | Número de viviendas                               | Saturación de equipos de uso final (%).<br>Ejemplo: para el uso final de conservación de alimentos conservación de alimentos es la saturación de refrigeradores a nivel nacional. | Depende de la tecnología.<br>Ejemplo: Consumo anual promedio de electricidad por refrigerador. |
| Agropecuario        | PIB agropecuario (\$)                             | % Consumo de combustibles   | Intensidad energética (J/PIB <sub>2003</sub> )   |
| Comercial           | PIB actividades terciarias (\$)                   | % Consumo de combustible  | Intensidad energética (J/PIB <sub>2003</sub> )   |
| Público             | Población   | Electricidad  | Intensidad Energética (Energía per cápita)   |
| Consumo propio      | PIB productos petroleros y electricidad           | % Consumo de combustible  | Intensidad Energética (J/PIB <sub>2003</sub> )   |
| Industrial por rama | PIB industrial o volumen de producción            | % Consumo de combustible  | Intensidad Energética (J/\$, J/Volumen)  |
| Transporte          | Número de unidades por kilómetro recorrido (v-km) | % tipo de vehículo en el total  | Rendimiento vehicular (Km/l)   |

Nota: En el caso del PIB, este está dado en pesos constantes tomando como base el año 2003.

Existen tres metodologías para estimar las emisiones y su utilización depende de la información disponible, ya que existen factores de emisión utilizados dependen de la actividad y el combustible que se utiliza en cada caso (IPCC, 2008). Las metodologías se describen a continuación:

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- Nivel 1: Depende del combustible utilizado y las emisiones de las fuentes de combustión pueden ser estimadas con base en el combustible quemado (usualmente extraído de las estadísticas nacionales) y de los factores de emisión promedio. Los factores de emisión están disponibles para los gases de efecto invernadero relevantes que se generan directamente, como son el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano. El valor de estos factores de emisión difiere dependiendo del tipo de gas que se trate; por ejemplo, para el CO<sub>2</sub> principalmente dependen del contenido de carbono del combustible; las condiciones de combustión (eficiencia de combustión, carbón retenido en escorias y cenizas, etc.) no son relativamente importantes, entonces, las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden ser estimadas con gran exactitud dependiendo de la cantidad total de combustibles quemados y el contenido promedio de carbono en ellos. Sin embargo, los factores de emisión para el metano y óxido nitroso dependen de la tecnología de combustión, condiciones de operación, control de emisiones en las tecnologías, calidad de mantenimiento y edad de los equipos.
- Nivel 2: En el método de energía nivel 2, las emisiones de combustión son estimadas de manera similar de estadísticas energéticas como se usa en el nivel 1, pero los factores de emisión son específicos de cada país a diferencia de los estándares establecidos en el nivel 1. Debido a que los factores de emisión específicos para cada país pueden diferir de combustibles específicos, las tecnologías de combustión o las plantas individuales, los datos de actividad pueden desagregarse para reflejar apropiadamente la variedad de las fuentes.
- Nivel 3: Para aplicarlo se requiere el uso de modelos de emisión detallados o mediciones y datos a nivel de plantas individuales donde es apropiado. Adecuadamente aplicado, estos modelos y mediciones suelen proveer mejores estimaciones para los gases de efecto invernadero como el óxido nitroso y metano, debido al costo del esfuerzo por obtener una información más detallada.

Debido a la carencia de datos específicos en emisiones de Gases de Efecto Invernadero para México se utilizaron los factores de emisión promedio para cada uno de los energéticos o metodología del nivel 1. Las estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero se basan en el poder calorífico neto, para ello se han establecido los

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

poderes caloríficos netos estándar, el superior e Inferior, con un intervalo de confianza de 95%. Los factores de emisión utilizados se presentan en el anexo 1 (IPCC, 2008).

Para estimar las emisiones para cada energético se usa la ecuación 3:

$$Em_{GEI,c} = E_{itc} * FE_{GEI,c} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:  $Em_{GEI,c}$  son las emisiones de un determinado gas de efecto invernadero ( $CO_2$ ,  $CH_4$  o  $N_2O$ ) por tipo de combustible “c” (Kg de GEI); “ $E_{itc}$ ” es el consumo de combustible como la cantidad de combustible quemado (TJ); y “FE” es el factor de emisión estándar como Kg GEI / TJ.

Para estimar las emisiones totales por gas de efecto invernadero de un sector determinado, provenientes de la ecuación anterior, son sumadas para todos los combustibles utilizados mediante la siguiente ecuación 4:

$$Emisiones_{GEI} = \sum_{c=1}^i Em_{GEI,c} \dots\dots\dots (4)$$

El Potencial de Calentamiento Global (PCG) define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el  $CO_2$ . De acuerdo al reporte del IPCC del año 2006, el PCG del metano durante 100 años es 25 y el del óxido nitroso es 298, lo que significa que las emisiones de una tonelada métrica de metano o de óxido nitroso son equivalentes a las emisiones de 25 y 298 toneladas métricas de dióxido de carbono respectivamente (IPCC, 2007). La unidad de medida utilizada para indicar el potencial de calentamiento global de los gases de efecto invernadero se denomina  $CO_2$  equivalente ( $CO_2$ -eq) y es la recomendada para expresar los resultados de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las emisiones de dióxido de carbono equivalente se estimas mediante la ecuación 5:

$$Em_{CO_2eq} = \sum_{n=1}^3 Em_{GEI,c} * PCG_c \dots\dots\dots (5)$$

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

### 2.2.3. ENTRADAS DEL MODELO

En el caso del sector residencial, se consideran los siguientes equipos como parte de los usos finales: refrigeradores, lavadoras de ropa, luminarias, televisiones, equipos de aire acondicionado, calentadores de agua y estufas; el resto de los electrodomésticos y equipos se consideran en el apartado de otros usos. Las entradas de información necesarias para hacer funcionar el modelo son las siguientes:

- Consumos de energía anuales disponibles en el horizonte de tiempo elegido.
- Saturación de equipos electrodomésticos y de uso de energía térmica.
- Consumos unitarios como KWh/año para el caso de refrigeradores, lavadoras de ropa, equipos de aire acondicionado y GJ/año para las estufas. Para el caso de luminarias y televisiones es suficiente con proporcionar la potencia de consumo y el tiempo de uso diario en horas; en el caso de los calentadores de agua es suficiente con proporcionar los datos de temperatura media anual nacional y la eficiencia que tienen.
- Número de viviendas particulares habitadas.
- Población nacional.
- Porcentaje de uso de combustibles para cocinar a nivel nacional como leña, gas LP y gas natural.

En el caso del sector transporte, y específicamente para la categoría de autotransporte, los datos de entrada son los siguientes:

- Número de unidades anuales para cada una de las siguientes categorías: transporte privado de pasajeros, transporte de pasajeros, transporte de carga.
- Combustible utilizado, rendimiento como unidades de energía/Km y recorrido promedio anual en Km para cada una de las categorías anteriores.
- En el caso del resto de los sectores se requiere el PIB correspondiente a precios constantes del año elegido como base y los consumos anuales de combustibles.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 2.2.4. SALIDAS DEL MODELO

Como salidas se encuentran los siguientes resultados para todos los sectores que proporciona el modelo:

- Estimación de la demanda futura para cada energético utilizado en cada sector.
- Intensidad energética.
- Emisiones de GEI.

En el caso particular del sector residencial, además se obtiene los siguientes resultados:

- Consumo de energía eléctrica y térmica por vivienda (proveniente del GLP).

## 2.3. MODELO DE SUSTITUCIÓN TECNOLÓGICA DE ELECTRODOMÉSTICOS PARA MÉXICO

Este modelo fue elaborado por la necesidad de estimar la cantidad total de energía eléctrica que se consume en México de acuerdo a los cinco principales usos finales de la energía eléctrica y para cuatro de los cuales se han emitido Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética: conservación de alimentos, lavado de ropa, acondicionamiento de aire e iluminación. Para estimar esa cantidad total de energía fue necesario estimar el consumo promedio de un equipo estándar (representativo de todas las capacidades y modelos que se comercializan en el país) de cada uso final en cada año.

### 2.3.1. ESTRUCTURA DEL MODELO

Este modelo está estructurado para estimar la cantidad de energía consumida por los electrodomésticos en México en base a las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética que se han emitido hasta la fecha, a los nuevos ajustes propuestos en base a la mejor eficiencia encontrada en el mercado nacional o internacional con condiciones de operación similares a las encontradas en México y también a las nuevas tecnologías eficientes en el uso de energía que han salido al mercado. Para estimar los consumos futuros se realizó un estudio de mercado para encontrar a los equipos más eficientes, de

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

ellos, el más eficiente se utilizó como modelo base para que se sustituyan los electrodomésticos en el año 2020 y el que se ubicó por debajo de este en términos de eficiencia fue el que se propuso para 2015; así mismo, estos modelos se utilizaron para proponerlos como prototipos para ajustar las NOM's de eficiencia energética existentes.

### 2.3.2. METODOLOGÍA DEL MODELO

El consumo de electricidad para el sector residencial en el año t puede ser expresado como se establece en la ecuación 6:

$$E_t = D_t \sum_i S_{it} \overline{CUE}_{it} \dots\dots\dots (6)$$

Donde: "D" es el número de viviendas particulares habitadas; S es la saturación del electrodoméstico i en el año t; y el "CUE" es el consumo energético unitario en KWh/año. Los datos de la saturación de electrodomésticos y de viviendas particulares habitadas fueron obtenidos de las bases de datos del INEGI para los años correspondientes (INEGI, 2016a) y el CUE es estimado como se indica a continuación:

La principal razón para la creación de este modelo fue estimar el número de electrodomésticos de acuerdo a su edad, lo cual se basa en la consideración de que cuando un electrodoméstico alcanza el final de su vida útil, será reemplazado por uno nuevo fabricado de acuerdo a la normatividad vigente en ese momento o el desarrollo de una nueva tecnología en el caso de las televisiones e iluminación. Para el año base, la distribución de electrodomésticos por año es estimado de acuerdo a un decrecimiento logarítmico. El número de electrodomésticos en cierto año es estimado mediante la ecuación 7.

$$A_T = A_t + A_{t-1} + A_{t-2} \dots\dots\dots + A_{t-(n-1)} \dots\dots\dots (7)$$

Donde  $A_T$  es el número total de cierto electrodoméstico en el año t,  $A_t$  es el número de electrodomésticos adquiridos en el año t,  $A_{t-1}$  es el número de electrodomésticos adquiridos en el número t-1, y "n" es el tiempo de vida del electrodoméstico.

Ahora,  $A_t$  es la suma de los nuevos electrodomésticos relacionada con el incremento del número de viviendas particulares habitadas " $A_{rit}$ " y los nuevos electrodomésticos que alcanzan el término de su vida útil es, por lo tanto, como se muestra en la ecuación 8.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

$$A_t = An_{it} + Ar_{it} \dots\dots\dots (8)$$

Donde “ $A_{nit}$ ” es el resultado obtenido de la ecuación 9.

$$An_{it} = S_{it} D_t - S_{it-1} D_{t-1} \dots\dots\dots (9)$$

Donde “ $S_{it}$ ” es la saturación del electrodoméstico en el año  $t$  y  $D_t$  es el número de viviendas particulares habitadas en el año  $t$ . El modelo asume que todos los electrodomésticos adquiridos en cierto año alcanzarán el final de su vida útil. Por lo tanto, el número de electrodomésticos reemplazados en cierto año es como se plantea en la ecuación 10.

$$Ar_{it} = A_{it-n} \dots\dots\dots (10)$$

Por ejemplo, los refrigeradores adquiridos en 1993, sabiendo que la vida útil promedio de un refrigerador es de 15 años, durarán hasta el año 2008 (año en que tendrán que ser reemplazados por otros más eficientes, en este caso fabricados con base en la NOM actualizada en 2003).

El consumo energético promedio ponderado nacional en el año  $t$  está dado por la ecuación 11.

$$\frac{CUE_{t,ijt}}{ijt} = \frac{\sum_{it} ((An_{it} + Ar_{it}) CUE_{it})}{\sum_{it} (A_{it})} \dots\dots\dots (11)$$

Donde  $CUE_{ijt}$  es el consumo unitario energético en el año  $t$ , del electrodoméstico  $i$  fabricado con base en la norma de eficiencia energética  $j$ , de la misma forma que  $A_{nit}$  y  $Ar_{ijt}$  que representan los nuevos electrodomésticos y a los reemplazados en el año  $t$ .

### 2.3.3. ENTRADAS DEL MODELO

Para hacer funcionar el modelo, deben alimentarse los siguientes datos anuales:

- Número de viviendas particulares habitadas
- Saturación de los electrodomésticos
- Consumo unitario energético para cada electrodoméstico de acuerdo a las NOM's vigentes.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- Vida útil del electrodoméstico.

## 2.3.4. SALIDAS DEL MODELO

Los resultados que se obtienen del modelo son los siguientes:

- Consumo unitario energético ponderado nacional anual para cada electrodoméstico.
- Consumo nacional para cada conjunto de electrodomésticos.

## 2.4. SERIES DE TIEMPO APLICADAS A LA INVESTIGACIÓN

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones tomadas en momentos o tiempos específicos, generalmente a intervalos iguales que siguen una serie de variaciones. Una serie de tiempo se define por medio de los valores  $Y_1, Y_2, \dots$  de una variable  $Y$  en los tiempos  $t_1, t_2, \dots$ . Por lo tanto,  $Y$  es una función de  $t$ ; esto se denota por  $Y = F(t)$ . La característica principal de una serie de tiempo es que  $Y_1, Y_2, Y_n$  son valores que representan eventos independientes entre ellos. La experiencia con muchos ejemplos de series de tiempo ha revelado ciertos movimientos característicos o variaciones, los cuales están presentes en distintos grados. El análisis de dichos movimientos es valioso en muchas relaciones, entre las que una de ellas es la de pronosticar movimientos futuros (Stephens, 2002).

Los movimientos característicos de las series de tiempo pueden clasificarse en cuatro tipos o componentes principales:

- Movimientos a largo plazo o seculares (T): Éstos se refieren a la dirección general que la gráfica de series de tiempo parece seguir sobre un intervalo grande de tiempo.
- Movimientos cíclicos (C): Éstos tienen que ver con las oscilaciones o los movimientos respecto a la recta o curva de tendencia. Estos ciclos son o no periódicos; es decir, pueden o no seguir patrones exactamente similares, después de intervalos iguales de tiempo. Los movimientos son considerados cíclicos sólo si se repiten después de intervalos mayores a un año.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- Movimientos estacionales (E): Éstos se relacionan con los patrones idénticos o casi idénticos que las series de tiempo parecen seguir durante los meses o trimestres correspondientes de años sucesivos.
- Movimientos aleatorios (L): Estos se refieren a los movimientos esporádicos de las series de tiempo, debidos a eventos aleatorios tales como inundaciones, huelgas o elecciones. Aunque generalmente se considera tales eventos producen variaciones que duran poco tiempo.

El análisis de series de tiempo consiste en una descripción (generalmente matemática) de los componentes presentes. Supóngase que la variable  $Y$  de series de tiempo es un producto de las variables  $T$ ,  $C$ ,  $E$  y  $L$  como se muestra en la ecuación 12.

$$Y = TxCxExL \dots\dots\dots (12)$$

El análisis de las series de tiempo equivale a investigar los factores  $T$ ,  $C$ ,  $E$  y  $L$  y suele llamarse descomposición de series de tiempo en sus movimientos componentes básicos.

Se eligió el análisis de series de tiempo como una alternativa para construir el escenario tendencial porque se considera el componente estocástico (asociado a probabilidades) de las estimaciones dado por los movimientos que se presentan. Este análisis se realizó con ayuda del modelo VAR (Vectores Auto Regresivos) dentro del programa STATA. Las estimaciones realizadas con el MEEM se realizan con base en tendencias de los valores registrados en el horizonte de tiempo y se comparan con el escenario tendencial obtenido con el modelo VAR.

### 2.5. COSTOS DE MITIGACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

Al evaluar las medidas de mitigación propuestas desde el punto de vista ambiental se hace también necesario hacerlo de igual forma desde el punto de vista económico, pues es a final de cuentas lo que determina su realización en el futuro.

Se analizan y comparan dos escenarios, en condiciones de operación similares de las tecnologías que los componen, : el tendencial, que es el que se presentará en caso de que las medidas de mitigación propuestas no se lleven a cabo, y el de mitigación, en el que sí

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

se implementan. Las hojas con los datos para la evaluación de cada medida se presentan en el anexo 2.

### 2.5.1. METODOLOGÍA DE LA ESTIMACIÓN

Para estimar los costos por la implementación de las medidas de mitigación se comparan los costos por implementar la tecnología de mitigación con respecto a una tecnología convencional. La razón de implementación de las tecnologías de mitigación se presenta en la siguiente sección.

Cada una de las medidas propuestas se evaluó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Consumo energético o generación eléctrica.
- Número de elementos implementados de la tecnología de mitigación y su costo unitario.
- Costos de operación y mantenimiento.
- Paridad del peso mexicano con el dólar
- Precio del energético.
- Emisiones de gases de efecto invernadero generadas.
- Costo total anual (\$CTA) que es la suma de los costos anuales de inversión, operación y mantenimiento.
- Vida del proyecto de 15 años.

El valor presente de los costos a lo largo de la vida del proyecto de implementación de las medidas de mitigación se estima con base en la ecuación 12.

$$VPN = \frac{\$CTA_0}{(1+r)^0} + \frac{\$CTA_1}{(1+r)^1} + \frac{\$CTA_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{\$CTA_{n-1}}{(1+r)^{n-1}} + \frac{\$CTA_n}{(1+r)^n} \dots \dots \dots (12)$$

Donde: “n” es el número del año considerando a 2015 como el tiempo cero, “r” es la tasa de interés considerada (12% según los proyectos de CFE (CFE, 2009)), “\$CTA” es el flujo neto de efectivo en cada año o costo total anual.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

El Valor presente anualizado de los costos (VPNA) representa lo que se pagaría anualmente por la implementación de las medidas de mitigación o de las tecnologías en el escenario tendencial (Baca, 2010) y se estima mediante la ecuación 13.

$$VPNA = VPN \left( \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right) = VPN \left( \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} \right) \dots\dots\dots(13)$$

El costo nivelado o marginal de las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas está dado por la ecuación 14, donde “ECO2EQ<sub>2030</sub>” es la cantidad de dióxido de carbono que se evitará en 2030 por la implementación de las medidas de mitigación, VPNA<sub>mitigación</sub> y VPNA<sub>tendencial</sub> representan los valores de VPNA obtenidos en el escenario de mitigación y tendencial, respectivamente. Este costo es el utilizado para comparar la factibilidad económica de las medidas de mitigación propuestas. El signo positivo que puede obtenerse indica que con los costos actuales de la tecnología provoca que los costos totales en el escenario de mitigación sean mayores que en el escenario tendencial. El signo negativo indica que es una medida de mitigación cuyos beneficios superan a los costos; es decir, se tienen menos costos totales en el escenario de mitigación que en el escenario tendencial.

$$\$CO2eq \left( \frac{USD}{TonCO_2eq} \right) = \frac{VPNA_{mitigación} - VPNA_{tendencial}}{ECO2EQ_{2030}} \dots\dots\dots(14)$$

Una vez obtenidos todos los costos marginales de las medidas de mitigación, se construirá una curva marginal de abatimiento (CMA) que es uno de los instrumentos de mayor utilidad para la toma de decisiones sobre las alternativas de reducción de emisiones (Curiel, 2011). Esta curva indica el costo, generalmente en USD / (ton de CO<sub>2</sub>eq), asociada con la última unidad (costo marginal) de emisión abatida para distintas cantidades de emisiones reducidas. Por lo tanto, se definió una línea base sin restricciones de CO<sub>2</sub> con el fin de evaluar el costo marginal de reducción relativo a la línea base. La curva presenta de forma sintética la información relevante para poder evaluar y comparar los efectos de distintas medidas, considerando además que estas pueden ser agrupadas sectorialmente (Clerc et al, 2013).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

La Figura 2.2 presenta la forma de una curva de costos de abatimiento. Cada barra/rectángulo se asocia a una medida dada y su ancho se interpreta como el potencial de reducción de emisiones asociadas. El potencial refleja la capacidad instalada de activos totales de esa medida de abatimiento en el año del análisis y la altura de cada barra representa el costo promedio de evitar una tonelada métrica de CO<sub>2</sub>eq.

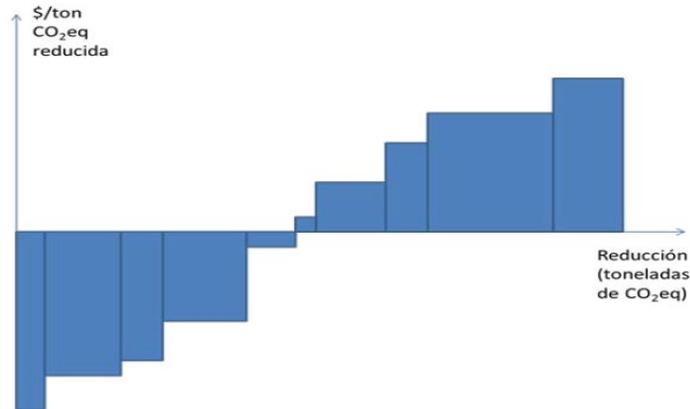


Figura 2.2: Principales dimensiones de la curva de costos de abatimiento. Fuente: (Clerc et al, 2013)

### 2.6. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS EN FUNCIÓN DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO

El Producto Interno Bruto (PIB) ha sido usado como la mejor aproximación para relacionar la demanda de electricidad con las actividades económicas en muchos países en desarrollo. Varios estudios se han enfocado en diferentes países y horizontes de tiempo, y han usado diferentes variables de aproximación para el consumo de energía y su relación con variables económicas. (Hossaim, 2010). En los años recientes numerosos estudios han sido dedicados a estudiar la relación entre el crecimiento económico y el consumo de electricidad para confirmar las políticas eléctricas nacionales, así como la dirección de causalidad que tienen las implicaciones de políticas para el gobierno, considerando el diseño e implementación de su política en el sector eléctrico. Los resultados empíricos de estos estudios han sido variados y algunas veces conflictivos. Además, los hallazgos difieren aún en la dirección de causalidad y en su impacto a corto plazo y a largo plazo en las políticas energéticas. Sin embargo, la mayoría coincide en que el crecimiento económico y el uso de la energía están relacionados. En la tabla 2.4 se presenta la evolución del PIB en los últimos 10 años junto con la intensidad energética medida como

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

consumo de electricidad per cápita. En ella se observa que, por ejemplo, en el año 2009 se tuvo un crecimiento económico negativo que coincidió con un descenso en el consumo eléctrico nacional y consumo de electricidad per cápita.

**Tabla 2.4: Evolución del PIB en el periodo 2005-2015, consumo eléctrica y consumo de energía per cápita.**  
Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2016).

| Año  | PIB (Millones de pesos) a precios constantes de 2008 | % Crecimiento del PIB | Consumo Eléctrico (PJ) | Consumo per cápita de energía (GJ/hab) |
|------|--|-----------------------|------------------------|--|
| 2005 | 11,160,493   |                       | 866.6                  | 74.3                                   |
| 2006 | 11,718,672   | 5%                    | 895.0                  | 74.3                                   |
| 2007 | 12,087,602   | 3.14%                 | 921.3                  | 73.7                                   |
| 2008 | 12,256,863   | 1.4%                  | 940.7                  | 74.9                                   |
| 2009 | 11,680,749   | - 4.7%                | 937.1                  | 73.7                                   |
| 2010 | 12,277,659   | 5.11%                 | 971.8                  | 72.4                                   |
| 2011 | 12,774,243   | 3.88%                 | 1031.8                 | 74.7                                   |
| 2012 | 13,287,534   | 3.86%                 | 1051.8                 | 75.3                                   |
| 2013 | 13,468,255   | 1.36%                 | 1049.1                 | 75.6                                   |
| 2014 | 13,770,659   | 2.24%                 | 1067.4                 | 72.0                                   |
| 2015 | 14,110,099   | 2.46%                 |                        |  |

Es por ello que se decidió construir escenarios adicionales de energía en función del PIB. Para construirlos se mantuvieron constantes los consumos finales de energía de los sectores cuyo crecimiento no está relacionado directamente con el crecimiento económico dado por el PIB, tales como: residencial, público, transporte y el consumo propio del sector energético; por lo que los sectores que si dependen directamente del PIB según estadísticas energéticas (agropecuario, comercial e industrial) son los que se tomaron de base para construir los escenarios. Los valores de crecimiento del PIB fueron obtenidos de las consideraciones tomadas en el POISE 2012-2026. Cabe destacar, para resaltar la importancia relativa de cada sector, que en 2014 el 4% del PIB se debió a las actividades primarias en las que está incluida la agricultura (considerado para el sector agropecuario); el 32.9% se debió a las actividades secundarias que se refieren a las actividades industriales (considerado para el sector industrial); y el 63.1% se debió a las actividades terciarias en las que están incluidas las actividades comerciales (considerado para el sector comercial). A continuación se describen los nuevos escenarios construidos en función del PIB:

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- **Escenario de crecimiento promedio del PIB:** Este es el escenario obtenido primero con base en las tendencias de consumo final de energía en México, incluyendo la energía utilizada para el consumo propio del sector energético. Se toma la consideración de que el PIB seguirá creciendo al mismo ritmo que en los últimos 10 años, que es un crecimiento del 3.6% anual en promedio en toda la economía. No todos los sectores crecen al mismo ritmo, por lo que ese 3.6% es el promedio de todos los sectores de la economía mexicana.
  - Escenario de crecimiento promedio del PIB: Este es el escenario obtenido como resultado inicial de las estimaciones con el MEEM y es el que se presenta en los resultados como el escenario tendencial o más probable de que ocurra.
  - Escenario tendencial aplicando series de tiempo: Es imposible estimar con exactitud el consumo de energía, por ello que se eligió estimarlo utilizando el método de las series de tiempo para el periodo de 2015 a 2030 con base en los valores reales registrados para el año 1993 a 2014.
- **Escenario de crecimiento bajo del PIB:** En este escenario se considera que la economía se enfrenta a una recesión y el consumo de energía final disminuye. La tasa de crecimiento del PIB considerada es de 2.9% en promedio para el periodo.
- **Escenario de crecimiento alto del PIB:** Este escenario considera que la economía crece a una tasa mayor que el promedio registrado; es decir, a un valor de 4.3% anual.

De igual forma, se considera que las medidas de mitigación no serán implementadas de la misma manera en todos los escenarios construidos debido a los elevados costos de inversión que presentan la mayoría de las tecnologías. En la tabla 2.5 se resumen las consideraciones de implementación de las tecnologías de mitigación para los tres escenarios construidos. Como se observa, se considera que la sustitución de electrodomésticos y luminarias no depende del crecimiento económico.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

**Tabla 2.5: Consideraciones para la implementación de las tecnologías de mitigación para los escenarios construidos.**  
Fuente: Elaboración propia.

| Medida de mitigación   | Tasa de crecimiento bajo del PIB  | Tasa de crecimiento promedio del PIB | Tasa de crecimiento alto del PIB |
|--|---|--------------------------------------|----------------------------------|
| Iluminación residencial  | Reemplazo al concluir su vida útil con tecnología eficiente apoyada por ajustes en la normatividad mexicana de eficiencia energética. |                                      |                                  |
| Refrigeradores residenciales   |   |                                      |                                  |
| Lavadoras de ropa residenciales  |   |                                      |                                  |
| Aire Acondicionado residencial   |   |                                      |                                  |
| Televisores residenciales  |   |                                      |                                  |
| Calentamiento de agua residencial  | 10%   | 20%                                  | 26.7%                            |
| Sistemas fotovoltaicos residenciales   | 5%  | 7.5%                                 | 10%                              |
| Vehículos híbridos sector transporte   | 2.5% de autos nuevos  | 5% de autos nuevos                   | 7.5% de autos nuevos             |
| Vehículos eléctricos sector transporte   |   |                                      |                                  |
| Granjas solares para generación eléctrica  | 1 cada 6 años   | 1 cada 3 años                        | 1 cada año                       |
| Rellenos sanitarios con aprovechamiento de biogás para generación eléctrica                        |   |                                      |                                  |
| Plantas de tratamiento de aguas residuales con aprovechamiento de biogás para generación eléctrica |   |                                      |                                  |

## 2.7. FORMA DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para analizar cada sector energético se toma como base el parámetro de intensidad energética, es decir, la cantidad de energía usada en unidades de Petajoules por cada peso de producción tomando como referencia al año 2003 (PIB<sub>2003</sub>), o su equivalente, dependiendo del sector energético como se presentó en la tabla 2.3. Este parámetro proporciona una idea general de la disminución o aumento del uso de la energía en México en cada sector y sólo se analiza para el periodo 1993-2014, ya que a partir de 2014 se considera constante para estimar el consumo de energéticos de 2015 a 2030.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

### 3. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS

La construcción de los escenarios tendenciales llevados a cabo servirá para estimar el impacto que pueden tener sobre el consumo de energía las medidas de mitigación que se proponen. Esas medidas de mitigación están ideadas considerando la ingeniería verde.

La Ingeniería verde es el diseño, descubrimiento e implementación de soluciones de ingeniería con una conciencia de los beneficios potenciales y los problemas asociados en términos ambientales, económicos y sociales a través del tiempo de vida del diseño(MICHELCIC, 2012)

Una estrategia de política para la promoción de la ingeniería verde es el establecimiento de estrategias obligatorias como las normas de eficiencia energética o los programas voluntarios. Los programas voluntarios no se rigen por la ley o son aplicables, pero pretenden promocionar y motivar comportamientos deseables. Los gobiernos, las industrias o las organizaciones no gubernamentales de terceros pueden patrocinar estos programas. Ejemplos de los primeros es la intervención de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) de México en el programa de ahorro de energía mediante la entrega de focos ahorradores en México en las comunidades rurales(SEDESOL, 2014).

Los estándares ambientales permiten una evaluación ambiental del impacto de un producto en factores como la contaminación, el hábitat de vida silvestre, uso de energía y calentamiento global, entre otros.

Las medidas de mitigación propuestas pretenden servir como guía para que los consumidores adquieran sólo productos con la mayor eficiencia energética disponible en el mercado y de esa manera reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera para abatir el cambio climático.

Se considera que en el caso de los electrodomésticos debería ocurrir el reemplazo al concluir su vida útil, independientemente de su situación económica; sin embargo, las que presentan costos elevados como es el caso de los sistemas fotovoltaicos, autos eléctricos e híbridos sólo podrían ser adquiridos por la población de mayores ingresos. En el caso de los calentadores solares su adquisición debería ocurrir por voluntad de las familias mexicanas que poseen espacio suficiente para su instalación.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Cada una de las tecnologías fue evaluada con base en su consumo de energía, costo y generación de emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo final fue determinar el costo nivelado de reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente conseguido mediante su implementación. Los productos o tecnologías elegidos como más apropiados para las medidas de mitigación fueron aquellos con menor consumo de energía disponibles en México en 2015 o en el caso de las tecnologías para generación eléctrica se tomó de ejemplo el mejor caso de éxito registrado en México hasta el mismo año.

En el Anexo 2 se presentan las hojas de datos con las que se obtuvieron los costos al evaluar las medidas de mitigación. Los costos se presentan en unidades de pesos mexicanos (MXP) y los datos corresponden a un periodo anual a excepción de cuando se especifique lo contrario.

Se especifican las marcas de los electrodomésticos empleados para la evaluación. Sin embargo, se aclara que al igual que los sistemas fotovoltaicos de generación de electricidad del sector residencial, las medidas de mitigación referentes al sector industrial y para generar electricidad están constituidas por instalaciones con múltiples componentes de diversas marcas y tipos, por lo que se especifica de manera general estos proyectos.

### **3.1. SECTOR RESIDENCIAL**

Al proponer la sustitución de electrodomésticos se toman en cuenta los criterios de los modelos estándar para la estimación de la demanda de electricidad, mismos que se presentan en la tabla 3.1. Se propone que se inicie con estas medidas de mitigación en el año 2015 tomando como base los consumos energéticos registrados en el año 2012. Los consumos energéticos tomados para construir el escenario de mitigación corresponden a los electrodomésticos más eficientes encontrados en el año 2015 y son los que se proponen para los años 2015 y 2020 presentados en la tabla 3.2, los cuales deben lograrse por ajuste en las NOM's de eficiencia energética. En el caso de luminarias y televisiones, esto debe ocurrir por sustitución tecnológica. Los costos fueron obtenidos del promedio de varios modelos de cada electrodoméstico encontrados en el estudio de mercado realizado en el primer semestre de 2015.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Los datos del número de viviendas particulares habitadas se estima en casi 33 millones para 2015 y en 49 millones para 2030 y el costo de la electricidad para este sector es de 0.976\$/KWh(CFE, 2015). Estos datos son importantes, pues de ello dependen las estimaciones del número de electrodomésticos existentes en este sector y la rentabilidad económica de las tecnologías eficientes.

**Tabla 3.1: Electrodomésticos seleccionados para el análisis del consumo eléctrico en el sector residencial. Fuente:(García Becerra, 2014), (CONUEE, 2014),(Sheinbaum & Rosas, 2010)**

| <u>Electrodoméstico</u> | <u>Tipo en el escenario base</u>                                      | <u>Tipo en el escenario de mitigación.</u> | <u>Tiempo de vida (año)</u> |
|-------------------------|---|--|-----------------------------|
| Refrigerador            | Automático son dos puertas y capacidad de 410dm <sup>3</sup>          |  | 15                          |
| Lavadora                | Automática con impulsor y una capacidad de 10Kg                       |  | 10                          |
| Aire acondicionado      | Tipo cuarto con una capacidad de 2930Wt equivalente a 10,000 BTU/hora |  | 10                          |
| Luminarias              | Focos incandescentes de 60W   | Lámparas fluorescentes compactas de 15W    | 1/5                         |
| Televisión              | CRT (Tubo de rayos catódicos) 29 in                                   | LED de 32 in                               | 10/10                       |

Nota: En el caso de las luminarias y televisiones, se considera un cambio de tecnología y los datos de tiempo de vida son presentados con una diagonal porque el primero corresponde al escenario actual y el segundo al escenario de mitigación.

**Tabla 3.2: Consumo promedio de electricidad de electrodomésticos propuestos para el escenario de mitigación. Fuente: Elaboración propia con datos de venta en el mercado mexicano de electrodomésticos en 2015.**

| <u>Electrodoméstico</u>      | <u>Consumo anual 2012 establecido den las NOM's (KWh/año)</u> | <u>Consumo anual ajustado propuesto para 2015 (KWh/año)</u> | <u>Consumo anual ajustado propuesto para 2020 (KWh/año)</u> |
|------------------------------|---|---|---|
| Refrigerador                 | 372   | 300   | 206   |
| Lavadora de ropa             | 110   | 80  | 40  |
| Equipo de aire acondicionado | 1862  | 1620  | 1205  |
| Televisión                   | 128   | 73  | 49  |

### 3.1.1. ILUMINACIÓN

En este aspecto se realizaron algunos ajustes debido a que la saturación de las lámparas fluorescentes compactas alcanzó el 53% en 2010 (INEGI, 2013). Se estima que en 2010 había 7.8 lámparas por vivienda (INEGI, 2016a) y que este número se incrementará a 11 en 2030.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

El programa de sustitución de lámparas incandescentes por LFC pretendía que para 2014 ya no se comercializaran en México las incandescentes; ese mismo año la CONUEE decidió modificar la Norma Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010, cuyo título es “Eficiencia energética de lámparas para uso general” (SENER, 2010), con el fin de que se pospusiera por un año la salida final del mercado mexicano de las lámparas incandescentes (focos) de uso general. Paralelamente, se inició un programa piloto orientado a la población de más bajos ingresos en zonas rurales, el cual sería operado por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), con el objetivo de apoyar a este sector en el proceso de salida definitiva del mercado de las lámparas incandescentes. Las lámparas incandescentes era el dispositivo eléctrico más barato en 2015. En tanto que las fluorescentes compactas (LFC) cuestan cinco y hasta diez veces, pero duran hasta diez veces más (Lima-Velasco, 2003).

Se decidió considerar que, a pesar de los esfuerzos de las instituciones gubernamentales las lámparas incandescentes se seguirán comercializando y que la saturación mínima que pueden alcanzar en el escenario tendencial es de 10%, esto se consigue en 2015 y se mantiene hasta 2030.

En el escenario de mitigación se considera que las lámparas incandescentes desaparecen en 2015, de 2015 a 2020 se comercializan sólo las lámparas fluorescentes compactas; y a partir de 2020 únicamente se comercializan lámparas LED.

### 3.1.2. REFRIGERADORES

Para el escenario base se toma un refrigerador marca Whirpool modelo “silver 36”. Para la evaluación del escenario de mitigación se eligieron dos modelos de refrigeradores: el que se propuso para 2015 es encontrado en el mercado mexicano y es de la marca Samsung modelo RL63GQERS y el que se propone para 2020 es de la marca Beko modelo CNE4754GB comercializado en Europa en 2014 y su consumo es válido en un intervalo de temperaturas de 10 a 43°C. Esto coincide con el intervalo de temperaturas medias anuales para México que en 2010 fue de 14 a 26.4°C (CONAGUA, 2011). La temperatura ambiental de operación influye en el consumo de energía de los refrigeradores, como lo demuestra Arroyo Cabañas en una investigación sobre el consumo energético de los refrigeradores y en la que se establece que las pruebas de laboratorio para medir el

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

consumo energético son habitualmente realizadas a temperaturas controladas normalmente constantes (isotérmicas) de alrededor de 32.2°C (Arroyo Cabañas, 2010). En esa investigación se establece que entre más alta sea la temperatura ambiental de operación de los refrigeradores, mayor es el consumo de energía anual. Así que puede decirse que la temperatura ambiental es uno de los factores de más relevancia en el consumo energético de este electrodoméstico.

### 3.1.3. LAVADORAS DE ROPA

Los modelos elegidos para llevar a cabo la evaluación son comercializados en el mercado mexicano, estos son los siguientes:

- Escenario tendencial: Lavadora marca Easy modelo LAE16300PBB.
- Escenario de mitigación, modelo para 2015: Lavadora marca LG modelo LGT1603TEFE.
- Escenario de mitigación, modelo para 2020: Lavadora marca Samsung modelo WA16J6710LS.

La elección de estos modelos se debió a que las condiciones para medir la eficiencia en México se basan en la consideración de 392 ciclos de lavado al año (ANCE, 2013).

### 3.1.4. EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Los equipos elegidos para realizar la evaluación económica de esta medida de mitigación son comercializados en México.

- Escenario tendencial: Equipo de aire acondicionado de la marca Frigidaire modelo FFRE10B3Q1.
- Escenario de mitigación, modelo para 2015: Equipo de aire acondicionado de la marca LG modelo W122CM.
- Escenario de mitigación, modelo para 2020: Equipo de aire acondicionado de la marca Samsung modelo AR12JVSSMWK.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 3.1.5. TELEVISORES

Se había pretendía proponer la sustitución de televisiones de tipo CRT (Tubo de Rayos Catódicos) por equipos LCD en 2015; sin embargo, ambos tipos de equipos casi desaparecieron en 2015, así que se propone construir los escenarios con equipos LED.

- Escenario tendencial: Televisión LED de la marca Polaroid modelo PTV3214LED.
- Escenario de mitigación, modelo para 2015: Televisión de la marca Philips modelo 720pHDsmart.
- Escenario de mitigación, modelo para 2020: Televisión de la marca Samsung modelo UN32EHS000FX.

## 3.1.6. CALENTADORES SOLARES

La energía solar puede ser aprovechada por medio de dos formas de tecnologías de conversión:

a.1) Sistemas Fotovoltaicos: funcionan por medio del Efecto Fotoeléctrico (también conocido como efecto fotovoltaico) a través del cual la luz solar se convierte en electricidad. Los dispositivos donde se lleva a cabo la transformación de luz solar en electricidad se llaman generadores fotovoltaicos y a la unidad mínima en la que se realiza dicho efecto se denomina celdas solares, que al conectarse en serie y/o paralelo forman los paneles fotovoltaicos.

a.2) Sistemas Fototérmicos: funcionan por medio de la conversión de la luz solar en calor sobre superficies que transfieren dicha energía a fluidos de trabajo para producción de calor de proceso o satisfacción de servicios sanitarios tales como agua caliente para duchas.

Para estimar la energía solar disponible en un sitio se realizan mediciones de una forma estadística, ésta se puede obtener a partir de las curvas de frecuencia acumulada de la irradiancia solar global promedio durante al menos un ciclo climatológico que dura 30

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

años. Estas curvas se definen como aquellas que representan la frecuencia, en términos del número de horas promedio o también llamadas horas pico de Sol, con la que la irradiancia global incidente es mayor o igual a cierto nivel crítico ( $1000 \text{ W/m}^2$ ). El intervalo de valores instantáneos de irradiancia para México comprende de 0 a  $1400 \text{ W/m}^2$  (UNAM, 2015).

Considerando la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual, con índices que van de los  $4.4 \text{ kWh/m}^2$  por día en la zona centro, a los  $6.3 \text{ kWh/m}^2$  por día en el norte del país (por ello resulta fundamental la adopción de políticas públicas que fomenten el aprovechamiento sustentable de la energía solar en nuestro país (UNAM, 2015), estos valores proporcionan una idea del potencial de aprovechamiento de energía solar, como puede observarse en la figura 3.1. El promedio de radiación en México, valor con el que se harán las estimaciones es de  $5.04 \text{ kWh/m}^2$  día. La cantidad de energía solar captada en un dispositivo de aprovechamiento depende principalmente de la irradiancia y del tipo de tecnología utilizada.

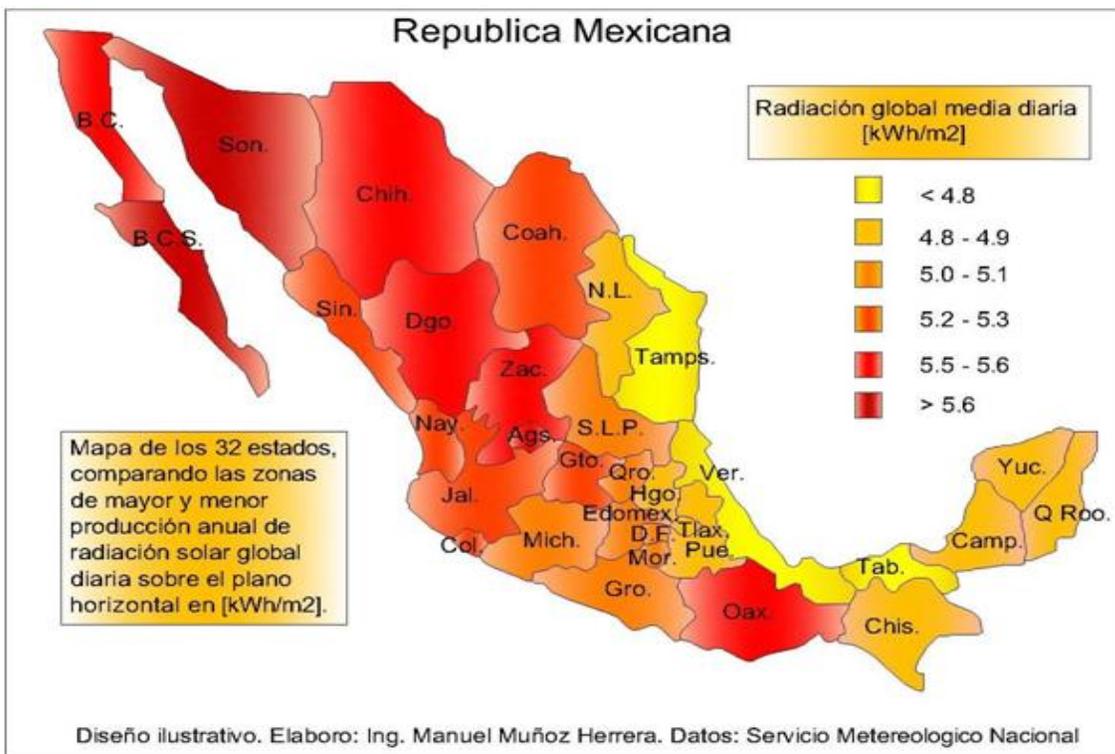


Figura 3.1: Mapa de radiación solar en México. Fuente: (PESCO, 2015).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Se considerará la tecnología de colectores solares planos para calentamiento de agua clasificada como de baja temperatura, en la cual el fluido caloportador alcanza temperaturas de hasta 90°C (Sánchez-Maza, 2008a)

Las instalaciones solares de baja temperatura están configuradas con los siguientes grupos de componentes:

Un sistema de captación: Formado por uno o varios captadores que transforman la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se caliente el fluido de trabajo que aquellos contienen.

Un sistema de acumulación: llamado también termo tanque y está constituido por un depósito que almacena agua caliente hasta que se precise su uso.

Un sistema de intercambio: que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de colectores, o circuito primario, al agua caliente que se consume.

Un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encargan de conducir el movimiento del fluido caliente desde el sistema de captación hasta el sistema de acumulación y desde éste hasta la red de consumo.

Un sistema de regulación y control que fundamentalmente se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del equipo, para proporcionar un adecuado servicio de agua caliente y aprovechar la máxima energía térmica posible.

Adicionalmente los equipos suelen disponer de un sistema de energía auxiliar que se utiliza para complementar el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o consumo superior al previsto, este es generalmente, el calentador de gas LP.

Se estima que con las condiciones actuales de radiación solar promedio y el la consideración del sistema elegido como base, que es uno de los modelos más comunes de la marca México Solar Heliocol(Solar-Heliocol, 2014) que está construido con tubería de polipropileno, con un área de captación de 1.88m<sup>2</sup> y una eficiencia de 50%; la satisfacción máxima de la demanda de agua caliente llegaría a 81%, por lo que el otro 19% debe satisfacerse con gas LP.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

La tasa de crecimiento de 1999 a 2013 en el número de calentadores solares fue de 11.3% anual, esta tasa será la que servirá para construir el escenario tendencial a partir de los calentadores existentes con una tasa de incremento de 20% considerando que en este escenario sólo habrán calentadores de Gas LP. La tasa de crecimiento considerada en el escenario de mitigación será igual a 20% para los calentadores solares.

La saturación de calentadores solares en el escenario de mitigación pasará de 2% en 2012 a 26% en 2030.

### 3.1.7. SISTEMAS FOLOVOLTAICOS

Tradicionalmente este tipo de energía se utilizaba para el suministro de energía eléctrica en lugares donde no era rentable la instalación de líneas eléctricas. Con el tiempo su uso se ha ido diversificando hasta el punto en que, actualmente resultan de gran interés las instalaciones solares en conexión con la red eléctrica.

Existen dos tipos de sistemas de energía solar fotovoltaica, cuyas características se resumen en la tabla 3.3:

- **Sistemas aislados:** En este caso toda esa energía generada se almacena en un banco de baterías. Es un sistema completamente independiente y gracias a que almacena la energía, puede ser utilizada en las noches y durante los días nublados. Son muy comunes en zonas rurales o alejadas de las ciudades, donde no llega la red eléctrica.
- **Sistemas interconectados:** Se llaman así porque se encuentran interconectados a la red eléctrica y toda la energía que generan los paneles solares se inyecta directamente a la red de distribución. Estos sistemas son más económicos ya que no necesitan de un banco de baterías (en ocasiones son los dispositivos más costosos del sistema aislado y los que mayor mantenimiento requieren). Para su operación se tiene que realizar un contrato con la compañía de electricidad local que verifica que todo el sistema cumpla con las regulaciones, ya que es fundamental garantizar la calidad de la electricidad generada.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Debido, sobre todo, al menor costo, se elegirá la instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica que satisfagan la demanda anual de electricidad, la cual para una vivienda mexicana en 2015 se estima en promedio de 1773KWh/año.

**Tabla 3.3: Comparación de las características de los sistemas fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia con datos de (CEMAER, 2014).**

| Parámetro               | Sistema aislado  | Sistema interconectado                 |
|-------------------------|--|--|
| Costos iniciales        | Más costoso por baterías   | Más económico                          |
| Costos de mantenimiento | Limpieza más costos de baterías cuya vida es de a lo más 5 años. | Mínimos de limpieza                    |
| Flexibilidad            | No se puede gastar más de lo que se almacena.                    | No hay problema por sobreuso           |
| Independencia           | Totalmente independientes  | Depende del Sistema eléctrico Nacional |
| Obligaciones legales    | No se requieren  | Se debe hacer un contrato con CFE.     |
| Implementación          | Un poco más complicado   | Sencilla                               |

Los componentes de este tipo de sistemas son los siguientes:

1. **Generador Solar:** Conjunto de paneles fotovoltaicos que captan energía luminosa y la transforman en corriente continua a baja tensión.
2. **Regulador de carga:** Su función es evitar sobrecargas o descargas excesivas de electricidad. Debe asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficacia.
3. **Inversor (opcional):** Se encarga de transformar la corriente continua producida por el campo fotovoltaico en corriente alterna, la cual alimentará directamente a los usuarios o será inyectada a la red eléctrica.
4. **Medidor bidireccional:** Sirve para registrar la energía que se envía a la red eléctrica y la energía que se consume de la misma; al final se realiza un balance entre las dos para determinar la facturación por unidad de tiempo.

Para efectuar la evaluación de esta medida se eligió instalar un sistema de 1KW de potencia instalada que consta de los siguientes componentes:

- ✓ 4 paneles fotovoltaicos de 227W de potencia marca LDK de tipo mono cristalino y dimensiones de 956mm x 1592mm.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- ✓ Inversor, regulador y medidor bidireccional marca CONERMEX.
- ✓ Accesorios que incluyen cables, rack o soporte, conectores, tablero de control e instalación de diversas marcas.

El costo de un sistema así especificado es de 40,000 pesos en marzo del año 2015 y la eficiencia del inversor es de 88.5%(Solar-Heliocol, 2014) y el tiempo de insolación promedio anual de 5.04h/día, ya que este valor es igual a la radiación media diaria en KWh/m<sup>2</sup>(Sánchez-Maza, 2008b). Tomando en cuenta los datos de radiación solar de la sección anterior.

La energía producida anual es:

$$Energía_{eléctricaprod} = \left( 4 \text{ paneles} \times 227 \frac{W}{\text{panel}} \right) \left( 5.04 \frac{h}{\text{día}} \right) (0.885) \left( \frac{1K}{1000} \right) \left( \frac{365d}{\text{año}} \right) = 1477.7 \frac{KWh}{\text{año}}$$

De acuerdo a ese valor de generación promedio anual, se tiene un porcentaje de satisfacción de la demanda en un hogar de 83.3%.

Se propone que se inicie con la instalación de los sistemas fotovoltaicos en los hogares que tienen mayores ingresos en nuestro país, estos son los que se encuentran en el decil 10 de ingreso, que en el año 2012 correspondían según el INEGI a aproximadamente 3 millones de viviendas particulares habitadas(INEGI, 2013). Por lo tanto, se propone iniciar con la instalación de 1,000,000 de estos sistemas en 2015 con un incremento anual de 7.5% para que en el 2030 se tenga cubiertos con paneles fotovoltaicos a la totalidad de viviendas que estén en el décimo decil.

Debido a la baja rentabilidad de estos sistemas considerando la tarifa residencial eléctrica de 0.976\$/KWh, se realizó también la evaluación económica con la tarifa DAC de 3.387\$/KWh(CFE, 2015) ya que es la más elevada y en la que estos sistemas son más rentables. Además, se consideran los incentivos gubernamentales existentes o incentivos fiscales para todo comprador de paneles solares, según la Ley del ISR Artículo 34 fracción XIII, es posible deducir el 100% de la inversión inicial en un solo ejercicio fiscal beneficiando al contribuyente con hasta un 30% de ahorro en su compra de un sistema solar(SAT, 2016)

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 3.2. SECTOR TRANSPORTE

Las medidas de mitigación propuestas para este sector corresponden al uso de autos híbridos y eléctricos en lugar de los autos compactos convencionales. Para ello es necesario conocer el número de autos que existen en México, el cual pasará de 18.4 millones en 2015 a 29.3 millones en 2030 (Solís-Ávila, 2013). Se propone para el escenario de mitigación que el 5% de los nuevos autos adquiridos cada año sean de tecnología híbrida y 5% de tecnología eléctrica. Cabe mencionar, que debido a su elevado costo (al igual que los sistemas fotovoltaicos), sólo pueden ser adquiridos por las familias de más altos ingresos.

Para la construcción de escenarios es necesario fijar una distancia recorrida por los autos, la cual se considera de 15,000Km/año con el 55% de la distancia recorrida en Ciudad y 45% en carretera para obtener el rendimiento en Km/L y los factores de emisión del sitio del INECC (INECC, 2015). El poder calorífico de la gasolina fue obtenido del Balance Nacional de Energía (SENER, 2015b), su costo es el registrado en el primer semestre de 2015 y los costos de los autos es las agencias automotrices mexicanas.

Ambos tipos de automóviles se compararon con el modelo convencional que más se asemeja a ellos (en el equipamiento y especificaciones técnicas) para que la diferencia de costos no fuera tan elevada comparados con los convencionales. En este caso, el modelo elegido fue el Civic Sedán de Honda para construir el escenario tendencial.

### 3.2.1. VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Los automóviles híbridos utilizan un motor eléctrico y uno de combustión interna. En función del tipo de uso para el que están diseñados, los coches híbridos pueden ser en serie o en paralelo. En los primeros, el motor de combustión interna acciona un generador que suministra electricidad a un motor eléctrico, mismo que está conectado a las ruedas; es decir, el vehículo se mueve finalmente con la potencia que suministra el motor eléctrico, el cual utiliza la energía eléctrica que produce el generador, accionado por el motor de combustión interna. La ventaja de este tipo de autos es que si se necesitan

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

prestaciones o autonomía, el motor eléctrico puede recibir a la vez energía de las baterías y del generador.

En los coches híbridos en paralelo, que son los más comunes, tanto el motor eléctrico como el de gasolina están conectados a las ruedas del vehículo. Son más complejos, pero también más eficaces para reducir el consumo y las emisiones, sin perjudicar su funcionamiento. Para el tráfico urbano, donde no hace falta mucha potencia y buscando un nivel de emisiones cero, el vehículo funciona sólo con el motor eléctrico, que toma la corriente de las baterías instaladas en el coche. Estas baterías pueden recargarse mediante un toma-corriente cuando el auto está parado, o mediante el generador acoplado al motor de combustión interna cuando está en marcha. Para conseguir más prestaciones y autonomía, en carretera el vehículo utiliza la fuerza del motor eléctrico y el de gasolina a la vez.

Cada año la oferta de los autos híbridos en México va aumentando con la llegada de uno o dos ejemplares nuevos al mercado, todos ellos de la mano de fabricantes japoneses o alemanes(INECC, 2015). En total son diez los autos con mecánica híbrida que estuvieron a la venta en nuestro país en el primer semestre de 2015. En la tabla 3.4 de los autos híbridos a la venta en el primer semestre de 2015. Debido al precio del CR-Z, es el modelo que se eligió en el escenario de mitigación.

**Tabla 3.4: Características de los autos híbridos existentes en el mercado mexicano en el primer semestre de 2015.**

| Modelo                      | Rendimiento de combustible (Km/L) | Precio en el primer semestre de 2015 |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| BMW ActiveHybrid 3          | 16.6                              | 854,900                              |
| BMW ActiveHybrid 5          | 14.7                              | 1,043,900                            |
| BMW i8                      | 47.6                              | 2,300,000                            |
| Honda Civic Hybrid          | 18.7                              | 361,900                              |
| Honda CR-Z                  | 15.7                              | 344,900                              |
| Infiniti Q50 Hybrid         | 17                                | 676,100                              |
| Porsche Panamera S E-Hybrid | 32                                | 1,957,500                            |
| Porsche Cayenne S E-Hybrid  | 30                                | 1,371,750                            |
| Toyota Prius                | 21                                | 437,000                              |
| Volkswagen Touareg Hybrid   | 10.4                              | 1,029,995                            |

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 3.2.2. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos eléctricos son impulsados por uno o más motores, recargados por una batería, que envían la energía a las ruedas. Este tipo de autos son atractivos por diversas razones: son eficientes, silenciosos, eficaces y proporcionan, al instante, una suave pero fuerte aceleración. Pero como primera razón está el hecho que no necesitan combustible alguno para su funcionamiento, por lo tanto, las emisiones contaminantes en el sitio de operación no existen. Aunque para considerarlos 100% ecológicos, la electricidad con la que son alimentados no debe generar contaminación al momento de generarla; y es que la energía proveniente de centrales eléctricas de carbón provoca mucho más contaminación que la emitida por los automóviles de combustión interna. Así que lo mejor sería que la electricidad que alimenta a los autos eléctricos se originara de celdas solares o de plantas hidroeléctricas y, de esta manera, cerrar el ciclo ecológico.

Como en toda tecnología nueva, existen ciertos obstáculos que impiden ser aceptados por todo el público. Hasta el momento, los autos eléctricos enfrentan dos problemas: la autonomía y el tiempo de recarga de las baterías. Una gran parte de los automóviles eléctricos que se venden en el mundo sólo ofrece un rango aproximado a 160 kilómetros, este motivo hace que sean puramente ciudadanos; otro problema es el tiempo, ya que la mayoría de las baterías necesitan de cuatro a ocho horas para recargarlas completamente. Dicho lapso se logra sólo si es que se tiene una toma de 220 volts, de hacerlo en una toma convencional (110 voltios) el tiempo se eleva a más de 12 horas. También se puede realizar la carga en las pocas electrolineras o centros de carga. La vida útil de las baterías para estos vehículos es de 10 años.

Las características de los dos modelos de autos eléctricos existentes en México en 2015 son las siguientes (González Arizmendi, 2014).

- ✓ Nissan Leaf: Este es el primer vehículo eléctrico de producción en masa. Ello le ha permitido ser el auto cero emisiones de mayor venta en el mundo. Con un banco de baterías equivalente de 24 kWh y una autonomía de más de 160 km, es decir con un rendimiento de 6.66 km/kWh, y dado que el precio del kWh en México es cuando más caro de \$3.44 por kWh a precios de 2015, es decir, recorrer 160 km

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

cuesta menos de \$83 si se usara un Leaf. Es decir, menos de un peso por kilómetro (\$0.51). Este modelo tuvo el precio más bajo encontrado.

- ✓ BMW i3: Ligero. Se trata del primer automóvil eléctrico de BMW, el cual tiene capacidad para cuatro pasajeros. Al contar con una carrocería de fibra de carbono sobre un chasis de aluminio, permite que su peso sea bastante ligero y que tenga una gran aceleración y autonomía. Tiene una autonomía entre 130 y 160 km y un banco de baterías de aproximadamente 22 kWh con un costo por kilómetro muy similar al del Leaf, dependiendo de las condiciones de manejo.

Los vehículos eléctricos efectivamente se apagan en cuanto se detiene el vehículo, con lo cual el consumo energético disminuye muchísimo en situaciones de tránsito pesado.

El costo de la tarifa DAC de CFE tiene dos aspectos que castigan el rendimiento de los autos eléctricos: el costo de la energía en tarifa DAC es mayor que el costo de la energía eléctrica que proviene de sistemas fotovoltaicos en la región central de México y, por lo tanto, el costo por kilómetro será menor si se tienen sistemas fotovoltaicos que son una fuente renovable de energía; la mayoría de los mexicanos pagan menos de \$3 por kWh, con lo que el costo del kilómetro todavía disminuye en los vehículos eléctricos (Del Río Portilla, 2015).

Para efectuar el análisis se elige el modelo Nissan Leaf para el escenario de mitigación.

### **3.3. SECTOR INDUSTRIAL**

Una de las medidas que ha tomado la industria de fabricación de cemento para obtener ahorros económicos y lograr la destrucción de residuos de difícil degradación es la utilización de neumáticos y otros materiales como sustitutos de combustibles fósiles; este uso es conocido en como co-procesamiento en México o valorización energética en otros países.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 3.3.1. COPROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE NEUMÁTICOS

### Proceso de fabricación del cemento

La fabricación del cemento se puede considerar una actividad industrial de procesamiento de minerales, que se puede dividir en tres etapas básicas:

- ✓ Obtención, preparación y molienda de las materias primas (caliza, marga, arcilla, pizarra, etc.), las cuales son generalmente extraídas de canteras y que aportan los siguientes compuestos minerales: carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). En esta primera etapa se obtiene una mezcla de los minerales que se denomina crudo o harina.
- ✓ Cocción del crudo en hornos rotatorios hasta alcanzar la temperatura adecuada ( $1.450^\circ\text{C}$ ), para ser enfriado bruscamente y obtener de esta manera un producto intermedio llamado clínker.
- ✓ Molienda del clínker con otros componentes: yeso (regulador de fraguado) y adiciones (escoria de alto horno, cenizas volantes, caliza, puzolanas), para dar lugar a los distintos tipos de cemento.

### Utilización de neumáticos

La masiva elaboración de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Aunque se trata de un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica, que dificulta su extinción en caso de incendio y no es degradable. Los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras: son resistentes al ozono, la luz y las bacterias, lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Por ello, una opción adecuada es la valorización energética de los neumáticos fuera de uso, en el proceso cementero. Esto ofrece ventajas significativas sobre otros métodos de utilización o eliminación. Tanto el contenido energético como el material, puede ser totalmente aprovechados en el proceso de fabricación de cemento, específicamente en la etapa de fabricación del clínker. No obstante, es necesario tener en cuenta que los neumáticos troceados nunca se utilizarán como combustible primario del horno, sino que estos se adicionarán al combustible

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

principal y el porcentaje de sustitución no puede superar el 20% del combustible(Cedano de León, 2012).

La combustión de los neumáticos no genera gases tóxicos, siempre y cuando se lleve a cabo a altas temperaturas como en los hornos de cemento, donde la temperatura máxima de los gases es de 2200°C y tiempos de residencia de entre 6 y 10 segundos(Cedano de León, 2012).

El poder calorífico neto de los neumáticos usados es el mismo que el del carbón y una tonelada de neumáticos equivale a 1 tonelada de carbón de buena calidad o a 0.7 toneladas de combustóleo(Cedano de León, 2012). Las variaciones del poder calorífico y del contenido de ceniza están asociadas normalmente con el porcentaje de acero en los neumáticos y la humedad puede variar también dependiendo de las condiciones de almacenamiento. En la tabla 3.5 se presenta una comparación entre las características de los neumáticos y del carbón.

**Tabla 3.5: Características de los neumáticos y del carbón, combustibles comúnmente usados en las cementeras. Fuente: (Cedano de León, 2012).**

| Parámetro                   | Neumático usado | Carbón |
|-----------------------------|-----------------|--------|
| Contenido energético (MJ/t) | 25-30           | 25-30  |
| Humedad (%)                 | 3-5             | 5-20   |
| Ceniza (%)                  | 15-20           | 10-15  |
| Carbono (%)                 | 60-70           | 80-90  |
| Azufre (%)                  | 1-2             | 0.3-2  |
| Nitrógeno (%)               | 0.3-0.5         | -      |
| Cloro (%)                   | 0.2             | -      |

El proceso de formación del clínker actúa también como un mecanismo de depuración de gases debido a que:

- ✓ Las características alcalinas de la materia prima permiten la captación de los compuestos halogenados (cloro y flúor) y sulfurosos, formando sales y sulfatos alcalinos inocuos que se incorporan al clínker.
- ✓ Los metales pesados que pudieran estar presentes en el residuo y que no se han volatilizado en la llama, condensan en las partes frías del sistema del horno, incorporándose al clínker.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

- ✓ La ceniza se funde con el resto de materias primas y pasan a formar parte del propio clínker, contribuyendo a la formación del mismo, parte como constituyentes de los compuestos activos del clínker y parte atrapadas en la estructura mineralógica del mismo.

Es por ello que la emisión de contaminantes atmosféricos puede disminuir con la utilización de neumáticos como se muestra en la tabla 3.6. Además esto no afecta a las características y a las cualidades del cemento.

**Tabla 3.6: Emisiones medidas de la combustión de prueba de neumáticos en un horno cementero de España. Fuente: (Cedano de León, 2012)**

| Contaminante (mg/m <sup>3</sup> ) | Combustibles fósiles (carbón y coque) | Combustibles y 15% de neumáticos |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Partículas                        | 60                                    | 60                               |
| Óxidos de nitrógeno               | 1180                                  | 800                              |
| Óxidos de azufre                  | 500                                   | 500                              |
| Óxidos de carbono                 | 985                                   | 948                              |
| Cloro y flúor                     | 1.13                                  | 1                                |
| Compuestos Orgánicos Volátiles    | 129                                   | 68                               |
| Dioxinas                          | 0.12                                  | 0.03                             |

### Situación en México

Hasta 2011 existían 32 plantas cementeras en México (ANDELLAC, ANILLAC & CNIH, 2013), de las cuales, sólo 11 tenían la capacidad de realizar co-procesamiento con capacidad para destruir 17,000 toneladas al mes de neumáticos; se tiene planeado que para 2022 haya 16 plantas cementeras que tengan esta capacidad, como se muestra en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7: Capacidad de co-procesamiento de neumáticos en México. Fuente: (ANDELLAC, ANILLAC & CNIH, 2013)**

| Periodo                | No. de plantas | Toneladas x mes | Neumáticos x año |
|------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| Actual (2013)          | 11             | 17,000          | 14,068,966       |
| A corto plazo (2014)   | 16             | 19,000          | 15,724,137       |
| A mediano plazo (2018) | 16             | 19,500          | 16,137,931       |
| A largo plazo (2022)   | 16             | 20,500          | 16,965,517       |
| Actual (2013)          | 11             | 17,000          | 14,066,966       |

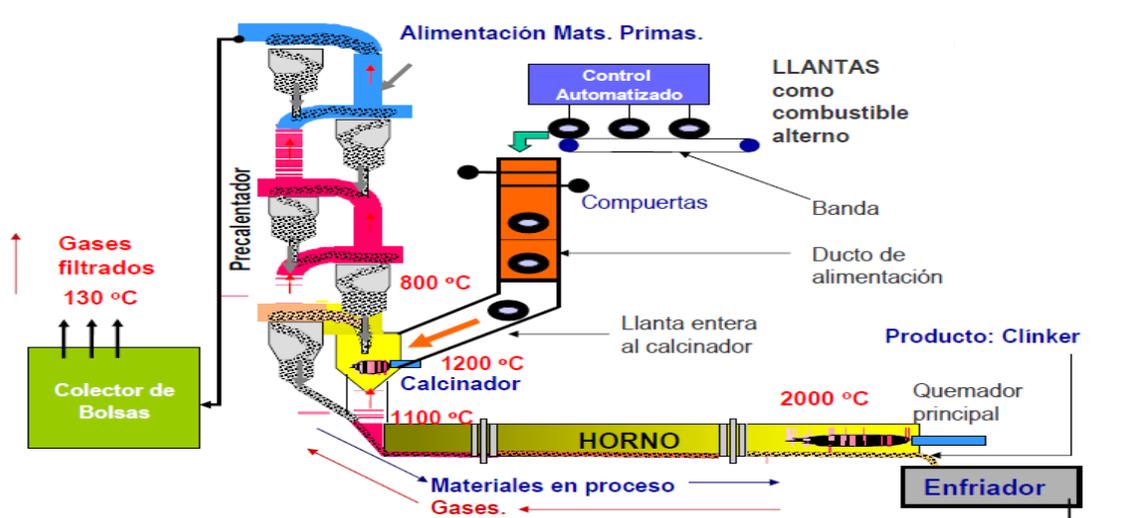
## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

La utilización de neumáticos usados como fuente de energía en las cementeras representó el 2.6% en el año 2011; sin embargo, los energéticos más utilizados son el coque de petróleo y la electricidad (Tabla 3.8). La Industria Cementera fue la segunda consumidora en energía más importante del país, con una participación del 8.8%.

**Tabla 3.8: Consumo de energía en la fabricación de cemento en 2011. Fuente: (ANDELLAC, ANILLAC & CNIH, 2013).**

| Tipo de combustible | Consumo (PJ) | % del Consumo |
|---------------------|--------------|---------------|
| Carbón              | 5.52         | 3.26          |
| Coque de petróleo   | 75.94        | 59.83         |
| Petrolíferos        | 2.9          | 1.42          |
| Gas seco            | 9.09         | 3.06          |
| Electricidad        | 30.49        | 23.96         |
| Residuos sólidos    | 7.63         | 5.36          |
| Residuos líquidos   | 0.92         | 0.51          |
| Neumáticos usados   | 3.35         | 2.6           |
| Total               | 135.85       | 100           |

Para utilizar llantas como combustible se requiere de una modificación del proceso antes de la entrada del horno, mismo que se presenta en la figura 3.2.



**Figura 3.2: Esquema de modificación del proceso para la utilización de neumáticos en cementeras. Fuente: (CANACEM, 2012)**

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Para evaluar esta medida de mitigación se comparará la instalación de la infraestructura necesaria para la utilización de neumáticos como combustible contra el escenario en el que no se instala esta medida. Se propone la entrada en operación de una cementera con esta capacidad de procesar neumáticos cada 3 años para llegar a 17 en el año 2030 y con ello se alcanzará el 50% de las cementeras con capacidad de utilización de neumáticos.

El diseño de la propuesta se basó en las inversiones que ha realizado la empresa Holcim Apasco en 6 de sus 7 plantas en México hasta el año 2011. Cada una de sus plantas tienen en promedio una capacidad de producción de 1.8 millones de toneladas de cemento por año y la inversión por planta cementera para co-procesamiento de neumáticos es de aproximadamente 12 millones de dólares (HOLCIM APASCO, 2015).

### **3.4. GENERACIÓN ELÉCTRICA**

Estas medidas son enfocadas en la generación de electricidad y pueden ser utilizadas para la satisfacción de la demanda por todos los sectores energéticos analizados.

#### **3.4.1. GRANJAS SOLARES**

Una central de generación fotovoltaica (comúnmente conocida como huerta o granja solar, término acuñado inicialmente por la empresa española Aesol, hoy Acciona Solar) es una agrupación de instalaciones solares ubicadas en una misma localización. Cada instalación posee una potencia aproximada de 5KW, y es posible la adquisición de una o varias instalaciones, que en su evolución han pasado a grupos de 15KW y 35KW. La central ofrece a particulares y empresas la posibilidad de convertirse en propietarios de pequeñas instalaciones solares fotovoltaicas agrupadas en una parcela. La ubicación de estas instalaciones solares comunitarias, en puntos de muy alta radiación solar y con gran cantidad de horas de sol, garantiza una producción elevada y rentable; por ello, se trata de un buen negocio que favorece al medio ambiente, a los bolsillos de sus inversores y a la sociedad en general, al apostar a las energías renovables.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Los elementos comunes en una central son los paneles solares que pueden ser fijos, pero en la actualidad se están imponiendo los paneles con rotores giratorios que siguen el movimiento del sol, aumentando así su capacidad de captación de radiación solar hasta en un 35%. La vida media de un panel solar no está bien determinada. En la actualidad, existen paneles solares que sobrepasan los 30 años de edad; según las empresas fabricantes, los paneles solares instalados en las huertas solares, pueden sobrepasar hoy en día los 40 años de uso (Carta González, 2009). Algunos fabricantes garantizan que la producción de energía no bajará del 80% durante los primeros 25 años de vida (como se mencionó en el apartado de los sistemas fotovoltaicos). La electricidad debe ser convertida en corriente alterna para poder ser inyectada en la red común, y esta es realizada primero por los inversores y después por transformadores.

Existen varios casos de éxito en México como el que se instaló con una inversión de 149 millones de dólares en el estado de Jalisco, que es la granja solar más grande de México, con una capacidad de 30 mega watts. La Comisión Reguladora de Energía (CRE) otorgó en septiembre de 2012 el permiso con una duración indefinida a la empresa constructora como pequeño productor de energía. Esta granja, que cuenta con 124 mil 200 módulos fotovoltaicos con capacidad de 240 watts cada uno, pero una vez que su capacidad aumente a 100 mega watts, será la más grande de México. El permiso especifica que la colocación de los paneles fotovoltaicos, los inversores y la puesta en servicio se realizó por etapas y se concluyó su instalación en 2013 (YAAXTEC, 2013). Esta granja solar tiene capacidad para producir 60 GWh al año, energía que se vende tanto a la Comisión Federal de Electricidad como a empresas privadas.

El escenario tendencial se construye considerando que se construyen nuevas centrales de diésel de similares capacidades instaladas, los datos económicos y de operación fueron tomados del POISE de CFE (CFE, 2014) y el escenario de mitigación corresponde a la instalación de granjas solares de similares características a la que se encuentra en el estado de Jalisco.

Se propone la construcción de una granja solar cada 3 años con capacidad de 30MW similar a la construida en Jalisco a partir de 2015, con ello, se tendrán en total 6 en 2030. Estas granjas estarán constituidas por módulos orientados hacia el sur con una inclinación igual a la latitud del lugar en que se instalen y se propone sea en uno de los estados con

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

mayor radiación solar en México que, como lo muestra la figura 3.1, es el estado de Sonora. Una diferencia muy importante es que en el escenario de mitigación no hay costos de operación porque la energía solar es considerada gratuita y tiene cero emisiones de GEI. Se asume que la energía generada se vende a CFE a un precio de 0.77\$/KWh. La tecnología a utilizar serán paneles fotovoltaicos de celdas de silicio monocristalino que tienen una eficiencia de 16% y cuentan con el sistema inversor-regulador que tiene una eficiencia de 88.5%.

### 3.4.2. APROVECHAMIENTO DE BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS

Las emisiones de metano globales de residuos domésticos provenientes de los rellenos sanitarios son estimadas de entre 30 y 70 millones de toneladas anuales (EPA, 2015) . La mayoría de este metano de rellenos sanitarios usualmente viene de los países desarrollados, donde la cantidad de basura generada en viviendas tiende a ser la más alta.

Los rellenos sanitarios proveen condiciones ideales para la metanogénesis en donde existe una enorme cantidad de material orgánico y condiciones anaerobias prevalentes. Las enormes cantidades de desechos que son enterrados en estos sitios puede significar que el el metano es producido por años después de que el sitio es cerrado debido a que los desechos orgánicos de descomponen lentamente bajo la tierra. El metano escapa de los rellenos sanitarios ya sea directamente a la atmósfera o por difusión a través de la cubierta de suelo; sin embargo, si este es capturado, pueden reducirse considerablemente las cantidades emitidas. Hay que recordar que una tonelada de metano, debido al potencial de calentamiento de este gas, equivale a 25 toneladas de dióxido de carbono(IPCC, 2007).

#### Impacto humano

Mientras que las cantidades de residuos domésticos urbanos se incrementan en los países en vías de desarrollo, el gas metano de los rellenos sanitarios puede llegar a convertirse en la fuente más grande del metano global.

Los sistemas de recuperación de metano en rellenos sanitarios ahora son comúnmente instalados en los sitios de los rellenos sanitarios y estos pueden reducir las emisiones a la

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

atmósfera en más de la mitad. Algunas veces el metano recuperado es quemado en la mayoría de los casos en México (como se muestra en la tabla 3.9), de esta forma se produce menos potencial de calentamiento, o menos dióxido de carbono equivalente; sin embargo, estos sistemas de recuperación del metano pueden proveer una fuente de energía económicamente viable, con la utilización del metano para la generación de electricidad.

**Tabla 3.9: Proyectos de aprovechamiento de biogás en México en el año 2013. Fuente: (Dávila, 2013)**

| TIPO                                   | RELLENO SANITARIO    | CIUDAD          | ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO   |
|--|----------------------|-----------------|--|
| Proyecto MDL                           | Monterrey I y II     | Monterrey       | Actualmente. Generación total 13.3 MW  |
| Uso Beneficio                          | San Nicolas/Cumbres  | Aguascalientes  | Solo quema de biogás, planea generación de electricidad  |
|  | Chiconautla          | Ecatepec        | Solo quema. Estado actual desconocido  |
|  | Ciudad Juárez        | Ciudad Juárez   | Inicio generación de electricidad en Mayo 2011   |
|  | ElMagisterio         | Puerto Vallarta | Actualmente bajo desarrollo. Planea evaporación de Lixiviados                                    |
|  | El Verde             | León            | Actualmente evaporando lixiviado. Planea generación de electricidad.                             |
| ProyectoMDL                            | Durango              | Durango         | Actualmente solo quema, planea generación de electricidad  |
| Solo Quema y                           | Tecamac              | Tecamac         | Actualmente solo quema, planea generación de electricidad  |
| Consideración de Generación de Energía | Tultitlan            | Tultitlan       | Actualmente bajo desarrollo, planea solo quema en Fase I y generación de electricidad en Fase II |
|  | Coyula               | Guadalajara     | Actualmente bajo desarrollo, planea solo quema en Fase I y generación de electricidad en Fase II |
|  | El Norte             | Culiacán        | Actualmente solo quema, planea generación de electricidad  |
|  | Norte                | Cancún          | Actualmente solo quema, planea generación de electricidad  |
|  | Chiltepeque          | Puebla          | Solicitando Registro bajo MDL, planea quema y generación de electricidad                         |
| Proyecto MDL Solo Quema                | Mérida               | Mérida          | Actualmente quemando   |
|  | Milpillas            | Temixco         | Actualmente quemando   |
|  | Hasars               | Zapopan         | Actualmente quemando   |
|  | Verde Valle          | Tijuana         | Bajo Desarrollo  |
| Otros                                  | Prados de la Montaña | D. F.           | Actualmente quemando   |
|  | Bordo Xochiaca       | D. F.           | Actualmente quemando, planea generación de electricidad  |

El uso creativo del gas de relleno sanitario (GRS) incluye calefacción de los invernaderos, la producción de electricidad y calor en aplicaciones de cogeneración, gas para los hornos de ladrillos, suministro de gas de alta calidad en BTU a tuberías de distribución y para la operación de los camiones de basura y, además puede proporcionar combustible para fabricación de productos químicos y automóviles (EPA, 2015).

El biogás de rellenos sanitarios es un subproducto natural de la descomposición de materia orgánica. El biogás se compone por lo general de aproximadamente 50-55% en volumen de metano, 45-50% dióxido de carbono, y 2-5% de otros gases como, por ejemplo, sulfuros.

Cuando los residuos sólidos urbanos se depositan en un relleno sanitario, se someten a una etapa de descomposición aeróbica (con oxígeno) se genera poco metano; entonces, típicamente en menos de 1 año, se establecen condiciones anaeróbicas y las bacterias productoras de metano comienzan a descomponer los residuos y lo generan. La curva

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

típica de producción de metano se presenta en la figura 3.3. Como se observa, la producción de biogás consta de 4 etapas o fases en las que las bacterias actúan:

Fase I: Las bacterias aeróbicas rompen las largas cadenas moleculares de hidratos de carbono complejos, proteínas y lípidos que componen los residuos orgánicos. El subproducto principal de este proceso es dióxido de carbono y continúa hasta que el oxígeno disponible se agota.

Fase II: Mediante un proceso anaeróbico (no requiere oxígeno) las bacterias convierten los compuestos creados por las bacterias aerobias en ácido acético, láctico, fórmico y alcoholes tales como metanol y etanol. A medida que se consume la mezcla de ácidos con la humedad presente y nitrógeno y, como resultado, se producen dióxido de carbono e hidrógeno.

Fase III: Las bacterias anaerobias consumen los ácidos orgánicos producidos en la fase II y forman acetato. Este proceso hace que el relleno se convierta en un entorno más neutral permite que las bacterias productoras de metano se establezcan y consuman el dióxido de carbono y acetato.

Fase IV: las tasas de producción de biogás se mantienen relativamente constantes, por lo general durante unos 20 años.

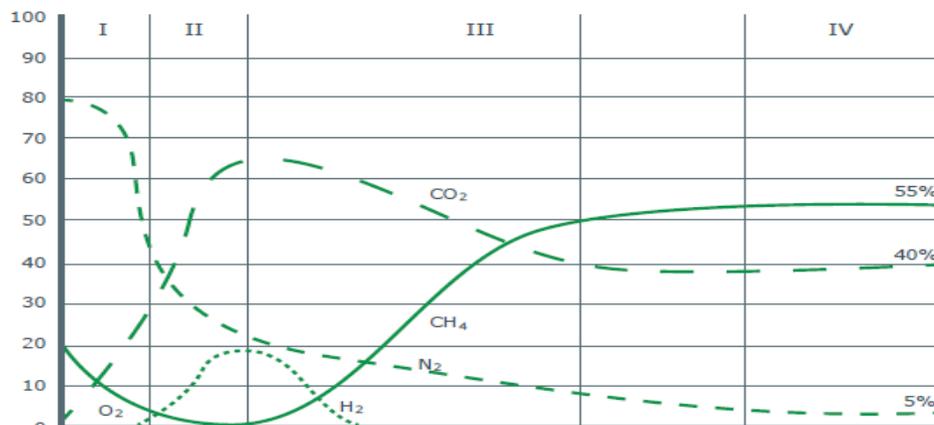


Figura 3.3: Curva típica de producción de biogás en rellenos sanitarios. La etapa IV es la más importante, pues es donde se produce el metano. Fuente: (EPA, 2015)

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

## Conversión del biogás de rellenos sanitarios en energía

En lugar de escapar a la atmósfera el biogás puede ser capturado, convertido y utilizarse como fuente de energía. El uso de biogás ayuda a reducir los olores y otros riesgos asociados con las emisiones y ayuda a prevenir que el metano migre a la atmósfera contribuya al smog local y al cambio climático global.

El biogás se extrae de los rellenos sanitarios o vertederos utilizando una serie de pozos y un sistema de soplador o vacío. Este sistema dirige el gas recogido a un punto central donde puede ser procesado y tratado, eliminando el ácido sulfhídrico y la humedad, dependiendo del uso final para el gas. Desde este punto, el gas puede ser quemado, o utilizarse para generar electricidad.

En la figura 3.4 se presenta el esquema de las instalaciones de un relleno sanitario con aprovechamiento de biogás. El proceso que se lleva a cabo es el siguiente: Al enterrarse los residuos, el biogás es capturado y conducido a través de las tuberías hasta la planta de biogás en la que se encuentra el quemador o el turbogenerador (en el caso de la producción de electricidad). Los pozos de monitoreo tienen la función de servir como puntos de muestreo para evaluar la calidad del biogás producido. Los lixiviados son recogidos gracias a una membrana impermeable, extraídos a través de pozos y enviados a la planta de lixiviados para incrementar la carga bacteriana y reinyectarse a las celdas donde se encuentran los residuos para acelerar el proceso de degradación.

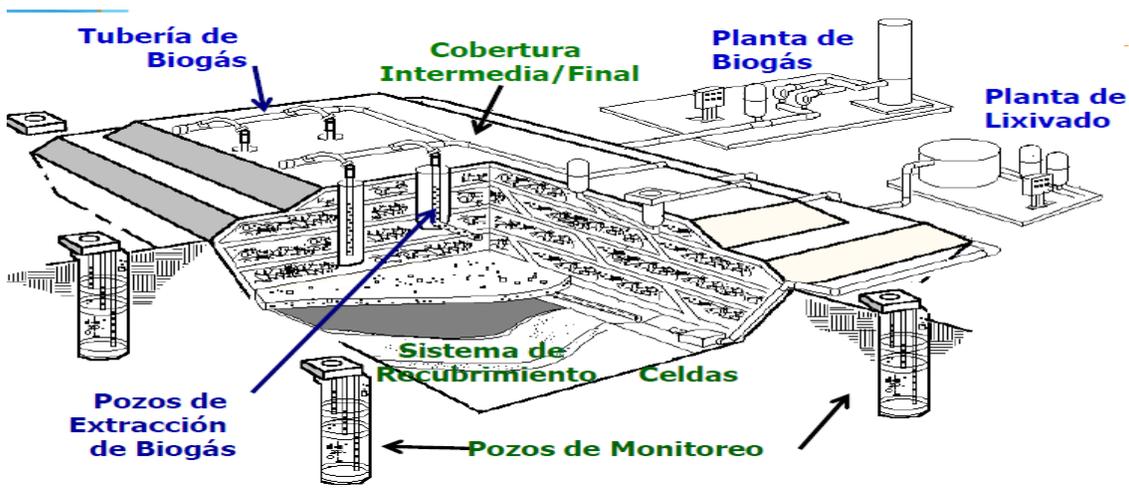


Figura 3.4: Componentes de un relleno sanitario moderno con quema de biogás. Fuente: (EPA, 2015).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Alrededor de tres cuartas partes de los proyectos actualmente operativos en los Estados Unidos generan electricidad a partir de biogás. La gran mayoría es de tecnología de motores de pistón o turbinas y de micro turbinas.

Para realizar la evaluación de esta medida de mitigación se utilizará como ejemplo el caso más exitoso en México que es el relleno sanitario de Monterrey, Nuevo León. Se propone iniciar la construcción de 1 relleno sanitario cada 3 años para tratar 57 toneladas de residuos sólidos por día para una capacidad instalada de generación eléctrica de 15MW en uno de los estados con mayor generación de residuos sólidos, que en este caso son: Ciudad de México, Estado de México, Jalisco, Veracruz, Guanajuato, Tamaulipas y Nuevo León (INEGI, 2015). Según datos del INEGI se generaban en México cerca de 99,000 toneladas diarias en 2012, de las cuales el 87% se disponen en tiraderos a cielo abierto y el 13% en rellenos sanitarios(INEGI, 2015), pero como se observó en la tabla 3.9, prácticamente sólo en el relleno sanitario de la empresa de la ciudad de Monterrey se genera electricidad en México. Se propone que se genere electricidad en estos rellenos sanitarios después de 3 años de que se construyan; es decir, en 2015 se iniciará la construcción del primero, de características similares al de Nuevo León, y el aprovechamiento de biogás iniciará en 2018. De esta forma, en 2030 se propone que operen 5 de estos rellenos sanitarios, con una vida útil estimada de 20 años. La producción de electricidad se considera que inicia 3 años después de su construcción debido a que se estima que es en ese tiempo en el que se genera la suficiente cantidad de biogás para ello.

Las características de los residuos sólidos típicos que entrarían a estos rellenos sanitarios y generarían la cantidad de biogás proyectada, previa separación de residuos valorizables, son las que se presentan en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10: Composición de los residuos sólidos en México en el año 2009. Fuente:(Juárez, 2012).**

| Componente                             | Porcentaje en peso de los residuos |
|--|------------------------------------|
| Papel, cartón y productos de papel     | 13.83%                             |
| Textiles                               | 1.43%                              |
| Plásticos                              | 10.89%                             |
| Vidrios                                | 5.88%                              |
| Metales                                | 3.44%                              |
| Basura de comida, jardines y similares | 52.42%                             |
| Otros                                  | 12.11%                             |

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Estos rellenos sanitarios con generación de electricidad se compararán contra centrales térmicas que utilizan diésel en el escenario tendencial. Cabe mencionar que entre los beneficios que se plantean para los rellenos sanitarios está la venta de la electricidad y la venta de certificados de emisiones reducidas (CER) que en el mes de enero de 2016 tenían un valor aproximado de 8 euros (equivalente a aproximadamente 152 pesos) por tonelada de dióxido de carbono (Investing.com, 2016).

### **3.4.3. APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Los métodos anaerobios para tratamiento de agua son utilizados comúnmente cuando la DQO (demanda química de oxígeno) supera los 1500 mg/l; y son, útiles especialmente en la industria de producción de alimentos. A diferencia de los aerobios, requieren de menor energía para trabajar, ya que no necesitan entrada forzada de oxígeno. Algunos sistemas anaeróbicos pueden recuperar una parte de la energía de las aguas residuales generando biogás. Son comunes los diseños de digestores anaerobios para el tratamiento directo de las aguas residuales o para el tratamiento de los lodos biológicos generados en el tratamiento secundario; debido a que la respiración bacteriana no es tan eficiente como en el tratamiento aerobio, las bacterias se reproducen lentamente (Pistonesi, et al., 2010).

Uno de los beneficios que puede obtenerse de los lodos que se generan en una planta de tratamiento es el biogás obtenido en la digestión anaerobia que es un proceso de estabilización, llevado a cabo en ausencia de oxígeno. En la figura 3.5 se puede observar la ubicación de los reactores anaerobios para generación de electricidad en una planta de tratamiento.

En plantas de tratamiento de tamaño grande, como por ejemplo, de más de 750 litros por segundo, se pueden obtener grandes beneficios derivados del aprovechamiento del biogás. El biogás producido puede abastecer entre 50 y 100% de la energía requerida en un tratamiento biológico convencional. Se puede aprovechar el biogás en un sistema de cogeneración, que genera electricidad y energía térmica simultáneamente, logrando una eficiencia global mayor a la que se obtiene cuando se utilizan sistemas separados con el mismo propósito. Durante la cogeneración se utiliza el biogás para alimentar un motor-generator para generar electricidad, el agua de enfriamiento que se descarga del motor a

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

una temperatura de 70 a 82 °C, y el gas de escape caliente del motor se pueden utilizar para calentamiento de los lodos en el digester anaerobio mediante un intercambiador de calor(Limón Macías, 2013).

### DIAGRAMA DE FLUJO

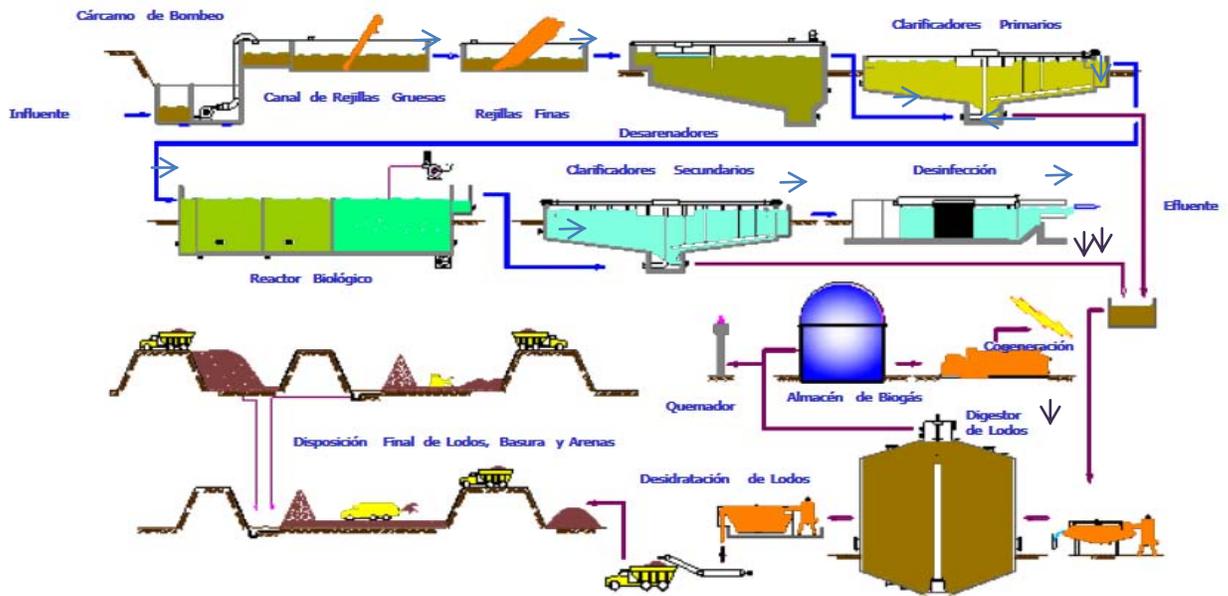


Figura 3.5: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de El Ahogado en Guadalajara Jalisco México que incluye generación de electricidad. Fuente: (ATLATEC, 2012)

### Producción y características del biogás

La producción de biogás es función de la destrucción de sólidos suspendidos volátiles en el digester (esta es entre 0.8 a 1.1 m<sup>3</sup> de biogás por cada kilogramo). El biogás producto de la destrucción anaerobia de la materia orgánica tiene una gravedad específica de aproximadamente 0.86 en relación al aire y contiene entre 45 y 75% en volumen de metano y 25 a 45% de dióxido de carbono(Limón Macías, 2013). Otros componentes y características del biogás se indican a continuación:

- ✓ Nitrógeno 0.2 a 2.5%
- ✓ Amoníaco 100 a 2,000 ppbv
- ✓ Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) 200 a 3,500 ppmv
- ✓ Siloxanos 100 a 4,000 ppbv
- ✓ Vapor de agua 5.9 a 15.3%

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

## Cogeneración de energía eléctrica

El biogás producido en los digestores puede utilizarse para generación de electricidad y agua caliente que sirva para elevar la temperatura de los lodos en el digestor y haga más rápido el proceso, como se muestra en la figura 3.6.

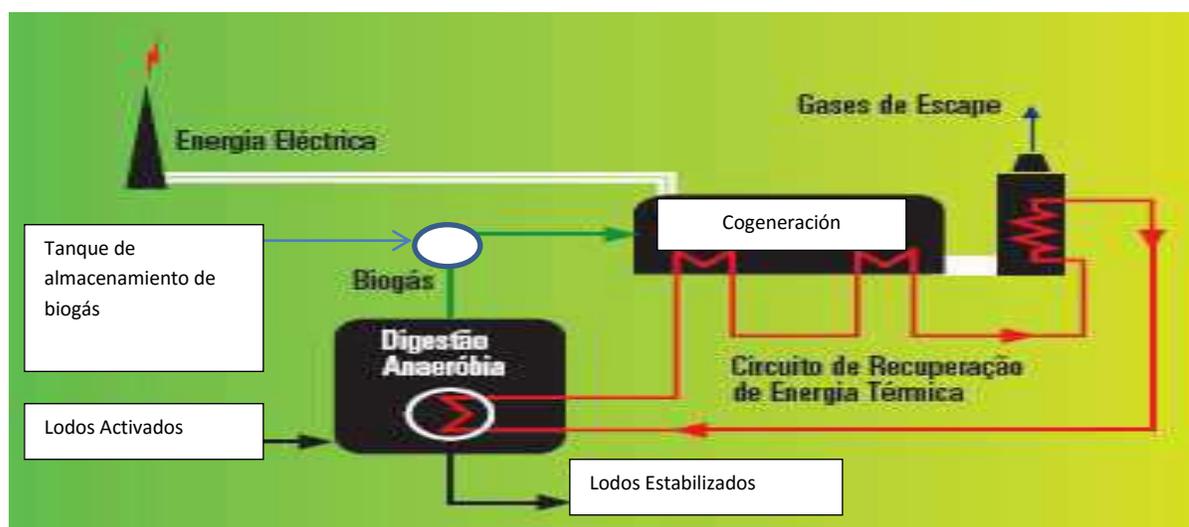


Figura 3.6: Esquema de instalación del sistema de generación de electricidad a partir del biogás en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Fuente: (Limón Macías, 2013)

El interés de utilizar sistemas de cogeneración en las plantas de tratamiento de aguas residuales ha crecido en los últimos años. Algunos de los factores que lo promueven son: tener energía de respaldo (proporcionan confianza durante cortes en el suministro de energía), la disponibilidad de combustible gratuito comparado con los costos del gas natural, el interés en el uso de fuentes renovables de energía y los incentivos que se pueden obtener por el uso de las energías renovables. Las tecnologías de cogeneración que actualmente se consideran para utilizar el biogás son los motores de combustión interna, las micro-turbinas, las turbinas de gas, las celdas de combustible y los motores Stirling. Los motores de combustión interna son la tecnología más comúnmente usada; estos motores ofrecen la ventaja de su baja emisión de óxidos de nitrógeno, lo que puede cumplir con las regulaciones de emisiones a la atmósfera. Normalmente se utilizan en tamaños de turbinas de 250KW a 2.5 MW (Limón Macías, 2013).

El factor de eficiencia de transformación a electricidad es del 25 al 40%. Si los intercambiadores de calor son del tamaño correcto, se pueden recuperar hasta 7,400 kJ/h

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

de calor por cada kW alimentado al generador, lo que aumenta la eficiencia del 40 al 45%. La eficiencia global del sistema, que incluye recuperación de calor del aceite lubricante, cubierta del motor, agua y gas, puede ser del 70 al 80% (Limón Macías, 2013). La principal dificultad que se presenta al aprovechar el biogás es que puede requerir un extenso pretratamiento previo a su aprovechamiento para eliminar al ácido sulfhídrico, siloxanos y humedad para evitar daños al equipo.

En México el porcentaje de tratamiento de las aguas residuales municipales en 2009 era de 31.2% (INEGI, 2016a). Además, las aguas residuales no tratadas generan metano producto de la biodegradación de la materia orgánica. Es por ello que la instalación de plantas de tratamiento con generación eléctrica representa una oportunidad muy importante para tratar las aguas residuales municipales, disminuir la emisión de GEI y obtener energía.

Para realizar la evaluación económica se empleará como ejemplo la planta de tratamiento que se puso en marcha en 2012 en el Estado de Jalisco denominada El Ahogado. Se propone la instalación de una de estas plantas cada 3 años iniciando en 2015. El caudal tratado en esta planta es de 2250 Litros por segundo, la DQO del agua de entrada a esta planta es de 850mg/L. El biogás generado se utilizará tanto para generación de electricidad con una capacidad instalada de 2.811MW y el aprovechamiento de energía térmica tendrá una capacidad de 1.651MW, la cual se utilizará íntegramente para mantener la temperatura de los lodos en el digestor a 36°C.

En el escenario tendencial se considera que se utiliza centrales de diésel para generar la electricidad y calentadores de agua con el mismo combustible para calentar los lodos del digestor.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 4. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD

En la etapa de planificación, los sistemas eléctricos se diseñan con estándares que buscan alcanzar un equilibrio entre el costo de inversiones para disponer de capacidad de reserva con los costos asociados a la energía no-suministrada. Por lo tanto, el Margen de Reserva (MR)<sup>3</sup> en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) es un resultado del ejercicio de planificación y no un objetivo que se busque alcanzar en dichos estudios. La confiabilidad de un sistema eléctrico depende de su capacidad para abastecer la demanda máxima de potencia (dada en MW) y el consumo de energía (dado en GWh). Para evaluar la confiabilidad del suministro de cualquier sistema eléctrico es necesario conocer el MR de capacidad, así como el margen de reserva en energía (MRE) considerando que en todo sistema eléctrico la capacidad de generación debe ser mayor que la demanda máxima anual. Una variable importante en la solución del problema consiste en la proyección futura de crecimiento del consumo; y su análisis es cada vez más complejo debido a la incertidumbre asociada al crecimiento demográfico y económico del país y a la implementación de programas de eficiencia energética como el PRONASE. Por otro lado, existe una alta volatilidad en los precios de los combustibles. En la planificación de los sistemas eléctricos siempre se utiliza la mejor información disponible en el momento en que se debe tomar la decisión de inversión (CFE, 2014).

La generación eléctrica es uno de los usos que más consume energía en el país, es por ello, que el análisis de esta actividad es muy importante.

### 4.1. DEMANDA DE ENERGÍA

En el año 2014, la producción total de energía primaria totalizó 8826.5PJ e incrementó 9.8% con respecto al valor registrado en 1993. En ese mismo año, el 87.87% de la energía primaria fue obtenida de hidrocarburos, tales como petróleo crudo, condensados y gas natural; 3.4% provino del carbón, 1.14% de la nucleenergía, y sólo 7.56% provino de fuentes renovables. En la tabla 4.1 se muestran los cambios encontrados en las fuentes de energía primaria registrados en el periodo de 1993 a 2014.

---

<sup>3</sup> El Margen de Reserva se define como la diferencia entre la energía disponible respecto del consumo anual demandado. Dicha energía considera la generación termoeléctrica por generarse pero que no se despacha más la hidroeléctrica acumulada en los grandes vasos, la cual puede transferirse interanualmente para convertirse en energía eléctrica.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

**Tabla 4.1: Cambios en la producción de energía primaria en el periodo 1993-2014. Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2016).**

| Fuente de energía | 1993 (PJ)      | 2014 (PJ)      | Variación            |                 | Estructura porcentual 2014 |
|-------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
|                   |                |                | porcentual 1993-2014 | porcentual 2014 |                            |
| Carbón            | <b>129.4</b>   | <b>303.37</b>  |                      | <b>134%</b>     | <b>3.44%</b>               |
| Hidrocarburos     | <b>7383.12</b> | <b>7755.2</b>  |                      | <b>9.8%</b>     | <b>87.87%</b>              |
| Petróleo crudo    | 5861.2         | 5597.20        | - 4.5%               |                 | 63.42%                     |
| Condensados       | 177.78         | 78.55          | - 90.5%              |                 | 0.89%                      |
| Gas natural       | 1344.14        | 2079.45        | 54.7%                |                 | 23.56%                     |
| Nucleoenergía     | <b>53.07</b>   | <b>100.6</b>   |                      | <b>89.6%</b>    | <b>1.14%</b>               |
| Renovables        | <b>576.02</b>  | <b>666.98</b>  |                      | <b>15.8%</b>    | <b>7.56%</b>               |
| Hidroenergía      | 95.96          | 140.01         | 45.9%                |                 | 1.59%                      |
| Geoenergía        | 0              | 129.88         | -----                |                 | 1.47%                      |
| Solar             | 0.95           | 8.73           | 818%                 |                 | 0.10%                      |
| Energía eólica    | 0.004          | 23.13          | 5781.5%              |                 | 0.26%                      |
| Biogas            | 0              | 1.94           | -----                |                 | 0.02%                      |
| Biomasa           | 369.48         | 363.28         | - 1.67%              |                 | 4.12%                      |
| Bagazo de caña    | 91.68          | 109.16         | 19.07%               |                 | 1.24%                      |
| Leña              | 277.8          | 254.12         | - 8.52%              |                 | 2.88%                      |
| <b>Total</b>      | <b>8141.6</b>  | <b>8826.15</b> |                      | <b>8.4%</b>     | <b>100%</b>                |

El consumo final de energía pasó de 3423.5PJ en 1993 a 4895.8PJ en 2015, lo que representó un incremento de 43% (Tabla 4.2). Este consumo por tipo de combustible se encuentra dominado por los productos petrolíferos con 57.41%; y de estos productos, el principal combustible es la gasolina. La electricidad representa casi el 18%; las energías renovables apenas aportaron el 6.13% en el año 2014 y, en este sentido, también se resalta que ha habido una disminución en su uso de 18.1% en el periodo de estudio. Parte de esta energía primaria se utiliza para la generación eléctrica y por ello es importante saber su distribución.

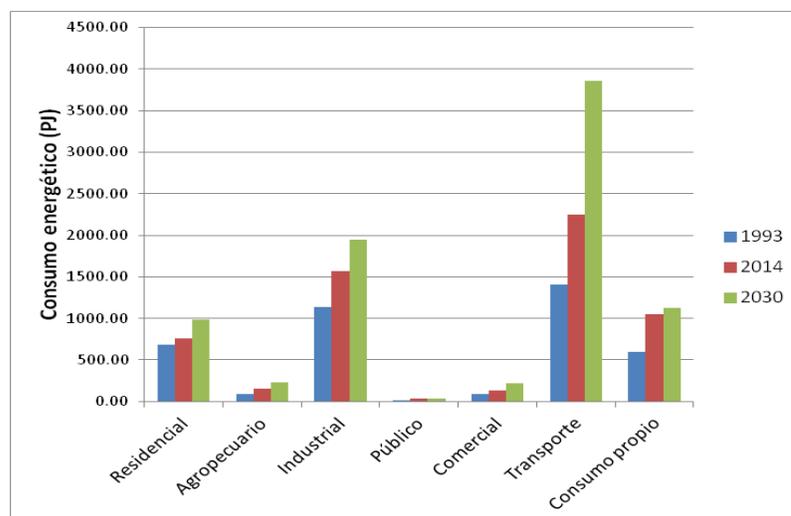
Cuando se clasifica al consumo energético final por sectores, el sector que más consume energía es el transporte, seguido por el industrial y el residencial. En la figura 4.1 se puede observar el incremento relativo en el consumo de energía en el periodo de 1993 a 2014 y la estimación del consumo en el año 2030 de acuerdo al escenario tendencial construido. Se observa que el consumo propio del sector energético será el tercero en

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

importancia en el año 2030, por lo que de ahí la pertinencia de incluirlo en el análisis del consumo de energía y emisiones.

**Tabla 4.2: Variación del consumo energético total en PJ por tipo de combustible en México en el periodo de 1993 a 2014. Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2016).**

| Año                             | 1993           | 2014           | Variación  | Estructura |
|---------------------------------|----------------|----------------|------------|------------|
|                                 |                |                | Porcentual | Porcentual |
| Carbón                          | 0.00           | 77.44          | ---        | 1.58%      |
| <b>Renovables</b>               | <b>366.19</b>  | <b>299.89</b>  | -18.10%    | 6.13%      |
| Leña                            | 277.81         | 254.12         | -8.53%     | 5.19%      |
| Bagazo de caña                  | 87.45          | 37.71          | -56.88%    | 0.77%      |
| Solar                           | 0.94           | 8.06           | 760.0%     | 0.16%      |
| Coque total                     | 54.91          | 182.40         | 232.0%     | 3.73%      |
| Coque de carbón                 | 48.92          | 68.89          | 40.8%      | 1.41%      |
| Coque de petróleo               | 5.98           | 113.51         | 1796.0%    | 2.32%      |
| <b>Total de petrolíferos</b>    | <b>2155.19</b> | <b>2810.46</b> | 30.4%      | 57.41%     |
| GLP                             | 369.50         | 423.02         | 14.5%      | 8.64%      |
| Gasolinas y naftas              | 931.45         | 1456.60        | 56.4%      | 29.75%     |
| Querosenos                      | 96.85          | 136.17         | 40.6%      | 2.78%      |
| Diésel                          | 489.06         | 779.20         | 59.3%      | 15.92%     |
| Combustóleo                     | 268.33         | 15.47          | -94.2%     | 0.32%      |
| Gas seco                        | 482.65         | 657.09         | 36.1%      | 13.42%     |
| Electricidad                    | 364.60         | 868.52         | 138.0%     | 17.74%     |
| <b>Consumo energético total</b> | <b>3423.54</b> | <b>4895.79</b> | 43.0%      | 100.00%    |



**Figura 4.1: Consumo final de energía en México para los años 1993, 2014 y 2030. Fuente: Elaboración propia, utilizando reales hasta 2014 y estimaciones para el año 2030, con datos de (SENER, 2016).**

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 4.2. CONSUMO DE ELECTRICIDAD Y PROYECCIÓN DE GENERACIÓN

Una vez proyectado el consumo sectorial de electricidad, que se presenta en la tabla 4.3, se procede a estimar el consumo de electricidad total por el sector energético, incluyendo el consumo propio; posteriormente, con los datos de operación de las centrales eléctricas existentes y los planes de expansión del POISE 2012-2016 (**CFE, 2014**) se estima el consumo de combustibles empleando el modelo bottom-up dentro del MEEM. Finalmente se estima el factor unitario de emisiones de GEI (en Kg CO<sub>2</sub>eq/KWh) con el que se estimarán las emisiones en los todos los sectores energéticos analizados por consumo de electricidad.

El análisis que se ha realizado con base en las referencias consultadas oficiales de la SENER (**SENER, 2012**), tanto para la capacidad instalada, como para la generación de electricidad en dos partes:

- Energía del Sistema Eléctrico Nacional (Sector público): Se abarcan todas las centrales generadoras propiedad de Comisión Federal de Electricidad (CFE) y las de los Productores Independientes de Energía (PIE), los cuales son empresas privadas que generan electricidad para su venta exclusiva a CFE, estos entraron en operación en el año 2000, utilizan centrales con tecnología de ciclo combinado y su participación en la capacidad instalada del sector público en 2014 fue de 22%(**SENER, 2015b**).
- Energía no suministrada al sector público: en este rubro se incluyen a los permisionarios que pueden generar la energía para su propio consumo en varias modalidades o fungir como intermediario entre el generador y el consumidor final. Las modalidades de estos permisos extendidos por la Comisión Reguladora de Energía en México son:
  - Autoabastecimiento: Energía generada para la satisfacción de necesidades de diversos puntos de consumo y puede dividirse en:
    - ✓ Local: Cuando la electricidad se genera y se consume en un punto cercano, tal que no se utilizan las líneas de transmisión de CFE.
    - ✓ Remoto: Cuando la electricidad se genera y se consume en un punto lejano, tal que se utilizan las líneas de transmisión de CFE.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- Cogeneración: Satisfacción de necesidades propias mediante el aprovechamiento conjunto de diversas formas de energía.
- Pequeña producción: Generación con plantas de menos de 30MW de capacidad.
- Producción independiente: Generación con plantas de más de 30MW de capacidad y cuya venta de electricidad está destinada al servicio público.
- Exportación: Se genera electricidad en México para su aprovechamiento en otro país.
- Importación: Aprovechamiento de energía generada fuera del país.
- Usos propios: Electricidad generada para usos propios del permisionario.

Cabe mencionar que, a partir de 2015, entró en operación un bloque de proyectos renovables operados por particulares principalmente de aprovechamiento de energía eólica.

Las centrales eléctricas son los centros de transformación que mayores pérdidas tiene, debido a que, en estos se experimenta una transformación de un tipo de energía, en su mayoría en estado sólido, líquido y gaseoso, a electricidad. En 2014 las centrales públicas registraron la mayor pérdida, con 871.93PJ, 12.4% menor a lo observado en 2013. Las centrales de los productores independientes de energía perdieron 344.28PJ, 0.9% por arriba de la cifra del año previo. Por último, la energía utilizada en la transformación dentro de las centrales de autoabastecimiento de 186.94PJ, 26.8%, mayor que en el periodo anterior (SENER, 2015a). Se estableció como meta alcanzar un nivel global de pérdidas de 8% para el año 2014 (CFE, 2014). Las pérdidas registradas en el sistema eléctrico nacional pueden clasificarse como:

- Técnicas: Aquellas que se presentan en el proceso de transmisión y distribución producidas por el efecto Joule a través de las líneas.
- No técnicas: Aquellas que se refieren a la energía que es consumida, pero no facturada.

En la tabla 4.3 se presentan los datos de consumo esperado de electricidad en los sectores analizados en los años 1993, 2014, y la proyección para el año 2030. Se observa que este pasará de 124,774.8 GWh en 1993 a 380,332.2 GWh en 2030, lo que representa un incremento del 200%; también se presenta la generación esperada de electricidad

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

incluyendo autoabastecimiento local y remoto. En el año 1993 los permisionarios generaron 4,753 GWh para autoabastecimiento local, 35,361 GWh para autoabastecimiento local y remoto en 2014, y se espera que para el año 2030 se generen 51,356 GWh incluyendo además al bloque de proyectos de energías renovables. En 2030 las centrales del sector público, se estima, generarán 431,688 GWh, lo que dará un valor total esperado de generación eléctrica de 487,438 GWh. El análisis reveló que los permisionarios de generación eléctrica han incrementado su participación en los últimos años y se espera que continúe sucediendo lo mismo en el futuro. Se observa que la generación esperada es mayor que el consumo ya que en el análisis se consideró que las centrales eléctricas operarán a su capacidad de generación máxima posible.

**Tabla 4.3: Consumo esperado de electricidad en los distintos sectores incluyendo consumo propio, pérdidas y energía no suministrada al sector público, además se presenta la generación total de electricidad esperada en los años 1993, 2014 y 2030. Fuente: Elaboración propia con datos de (CFE, 2014), (SENER, 2016).**

| Sector   | 1993      | 2014      | 2030      | Variación total<br>1993-2014 |
|--|-----------|-----------|-----------|------------------------------|
| Proyección del consumo de la electricidad suministrada al sector público (GWh) |           |           |           |                              |
| Transporte   | 894.2     | 1,135.9   | 1,196.1   | 27%                          |
| Público  | 5,238.9   | 8,440.3   | 10,590.2  | 61%                          |
| Comercial  | 9,501.9   | 16,366.0  | 25,958.0  | 72%                          |
| Agropecuario   | 5,920.0   | 12,279.9  | 15,808.2  | 107%                         |
| Residencial  | 25,510.0  | 56,848.4  | 89,699.6  | 122%                         |
| Consumo propio   | 6,515.3   | 14,052.0  | 15,053.5  | 116%                         |
| Industrial   | 53,984.2  | 146,029.8 | 181,590.0 | 160%                         |
| Consumo total del Sistema Eléctrico<br>Nacional (Sector Público)               | 107,564.4 | 255,152.4 | 339,895.6 | 137.2%                       |
| Porcentaje de Pérdidas   | 16.0%     | 15.0%     | 12%       | -6.25%                       |
| Energía de pérdidas técnicas y no técnicas                                     | 17,210.3  | 41,938.4  | 40,436.6  | 144%                         |
| Consumo total sector publico + pérdidas  | 124,774.8 | 297,090.8 | 380,332.2 | 138%                         |
| Generación total de electricidad (GWh)   |           |           |           | Variación total<br>2014-2030 |
| Autoabastecimiento local   | 4,753.0   | 16,236.0  | 16,236.0  | 0%                           |
| Autoabastecimiento remoto  | 0.0       | 19,125.0  | 19,168.0  | 0.22%                        |
| Bloque de proyectos renovables   | 0.0       | 0.0       | 15,952.2  | -                            |
| Generación esperada de centrales del<br>sector público                         | 129,527.7 | 332,451.8 | 457,565   | 22.18%                       |
| Generación total esperada  | 134,280.7 | 367,812.8 | 508,921   | 24.4%                        |

Nota: Las pérdidas sólo de consideran en las centrales del Sector Público.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Como se observa, se esperan incrementos menores en la generación total para el periodo 2014-2030 comparación al periodo 1993-2014, esto es debido a la menor longitud de tiempo de análisis y a que se espera que el consumo de electricidad se disminuya en los distintos sectores por la aplicación de acciones cuyo objetivo es ese. De acuerdo al escenario de planeación presentado en el POISE 2012-2026, en 2026 se espera una generación de 479,234GWh en las centrales públicas, valor menor al estimado aquí debido a que el análisis de esta investigación abarca hasta el año 2030.

Es importante resaltar que en el caso de la generación eléctrica, la demanda se obtiene con base en los sectores. La oferta en forma de generación se obtuvo de los planes de expansión del sector eléctrico. Por lo tanto, ambos proporcionan resultados independientes.

### **4.3. USOS FINALES DE LA ELECTRICIDAD**

En este apartado se presentan los usos finales más importantes de la electricidad en cada sector.

#### **4.3.1. SECTOR RESIDENCIAL**

El consumo de electricidad en este sector se debe principalmente a los electrodomésticos y se describe a detalle en el siguiente capítulo.

#### **4.3.2. SECTOR COMERCIAL**

El sector servicios y comercio está conformado por una serie de actividades heterogéneas que abarcan desde los servicios profesionales, científicos y técnicos, en los que el capital humano constituye el insumo más importante, hasta servicios de información en medios masivos, que dependen en mayor medida de capital físico y tecnológico. Asimismo, están las actividades realizadas en los establecimientos comerciales, los servicios relacionados con el esparcimiento y recreación, la prestación de educación, salud y asistencia social, entre otros. En este sector, empresas y establecimientos pertenecientes a un mismo

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

subsector presentan características y tamaños muy diversos, además de estar integradas por una gama heterogénea de actividades; en consecuencia, la distribución e intensidad de los recursos utilizados, en especial de la energía, pueden variar entre establecimientos de una misma actividad comercial o de servicios. Por ejemplo, los insumos utilizados en un hospital de especialidades médicas van a diferir de forma considerable respecto al de una pequeña clínica o un consultorio. De ahí la dificultad para caracterizar y entender el comportamiento del sector.

La electricidad se usa principalmente para los siguientes propósitos en este sector: sistemas de bombeo de agua, enfriamiento y calefacción de espacios, Iluminación, motores de maquinaria diversa en el sector comercial y de servicios.

### **4.3.3. SECTOR AGROPECUARIO**

El uso de la electricidad en este sector es para los siguientes propósitos: sistemas de bombeo y riego de agua en agricultura y ganadería, sistemas de conservación de alimentos y motores de maquinaria diversa en el sector pecuario.

### **4.3.4. SECTOR INDUSTRIAL**

Este es el sector más complejo y debido a ello, sólo puede hacerse el análisis del consumo eléctrico de manera global; no obstante, que el análisis se realizó de manera desagregada para las ramas industriales que integran a este sector, mismas que se especifican en el capítulo 6. Los usos de la electricidad en este sector son muy diversos, y entre los más importantes se incluyen: el funcionamiento de motores y maquinaria diversa, iluminación, sistemas de calentamiento, etc.

### **4.3.5. SECTOR TRANSPORTE**

El uso de la electricidad es muy importante en este sector, sobre todo, en los centros urbanos, ya que el transporte eléctrico como los trolebuses o el metro se mueven gracias a ella.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

### **4.3.6. SECTOR PÚBLICO**

En este sector se considera la energía que los gobiernos municipales, estatales y federales utilizan para los servicios públicos como son: el bombeo y potabilización de agua, bombeo de aguas residuales y alumbrado. Debido a la naturaleza de los usos finales antes descritos, sólo se utiliza electricidad en este sector y su uso está ligado al crecimiento poblacional y creció.

### **4.3.7. CONSUMO PROPIO DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO**

El consumo propio es definido como la energía primaria y secundaria que el sector energético utiliza para el funcionamiento de sus instalaciones. En el caso del sector eléctrico se incluyen los autoconsumos en generación, transmisión y distribución; otros usos que abarca este consumo propio es: funcionamiento de bombas, compresores y otros motores diversos, etc.

## **4.4. DEMANDA FINAL DE ELECTRICIDAD**

El servicio público de generación eléctrica hasta 2014 tenía un total de 777 unidades generadoras, 52512 MW de capacidad efectiva instalada y una generación bruta de 259,155GWh.

Para determinar el consumo de combustibles correspondiente a la generación de electricidad se empleó el método de abajo hacia arriba y se abarcaron las dos partes mencionadas al inicio del capítulo.

Los datos técnicos de las centrales que se consideraron para realizar este análisis de las centrales de generación eléctrica son los siguientes, corresponden al año 2011, y se presentan de manera detallada en el Anexo 3(CFE, 2014), (SENER, 2013):

- 1) Tecnología
- 2) Combustible

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

- 3) Capacidad efectiva (MW)
- 4) Generación bruta (2011) en GWh
- 5) Factor de planta (%)

Una vez realizado este análisis, se obtiene la figura 4.2 para representar la capacidad instalada existente en el año 2011 (54,178 MW); y su evolución al año 2026 (85,064 MW), según la prospectiva del sector eléctrico. Las centrales térmicas convencionales disminuirán su participación, mientras que las centrales de ciclo combinado la aumentarán. Es importante explicar que se proyecta la construcción de nuevas centrales llamadas de Nueva Generación Limpia (NGL) que son centrales que operarán con carbón, pero que se planea que tengan sistemas de captura y secuestro de dióxido de carbono. Las centrales de energías renovables, hidroeléctricas y solar representarán menos del 20%.

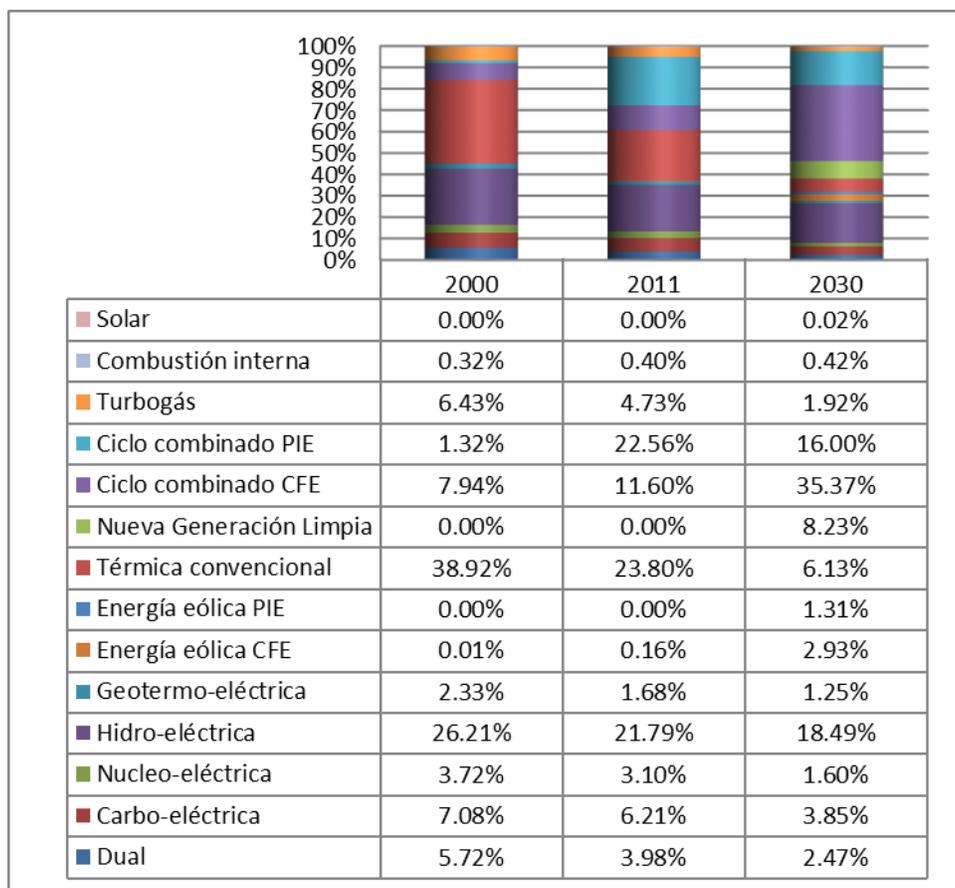


Figura 4.2: Capacidad instalada de generación eléctrica en centrales públicas en el año 2000, 2014 y 2030.

Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2012).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

La generación en el año 2030, en centrales públicas, será de aproximadamente 457,565 GWh, y como puede esperarse de acuerdo a la figura anterior, el 62% será generado por la tecnología de ciclo combinado que utiliza gas natural como combustible, seguido de la nueva generación limpia (10%) e hidroeléctrica (9%).

En el año 2030, los permisionarios de generación eléctrica tendrán una capacidad instalada de 11,394 MW, que representará el 11.81% de la capacidad instalada total en el país. En la figura 4.3 se presenta la distribución de la tecnología con la que los permisionarios generarán electricidad en el año 2030. Principalmente serán turbinas de gas, turbinas eólicas y centrales de ciclo combinado.

En la figura 4.4 se presenta el consumo de electricidad desde 1993 hasta 2030 de acuerdo a los 3 escenarios construidos y la proyección de generación de acuerdo a los planes de expansión de la infraestructura para la generación de electricidad en los próximos años. Como se observa, el uso de la electricidad se incrementará dependiendo del crecimiento económico de una forma significativa. La proyección de generación eléctrica del POISE es mucho mayor, pues se considera que todas las centrales eléctricas operan con el factor de planta máximo posible y se da lugar al margen de reserva.

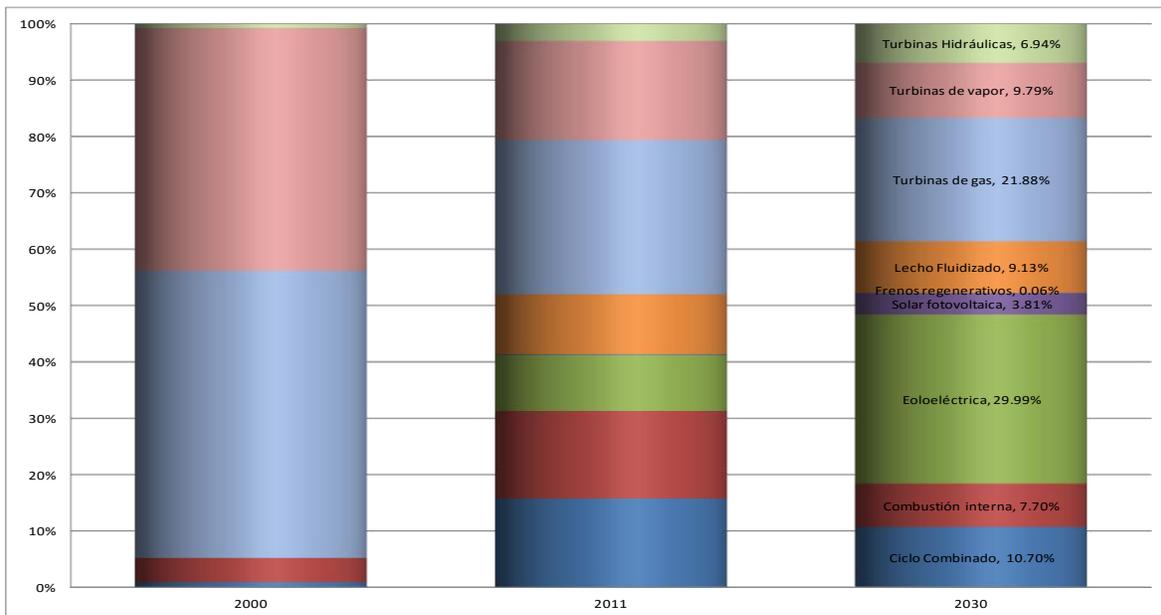


Figura 4.3: Evolución de la distribución de la tecnología con la que generan energía los permisionarios. Fuente: elaboración propia con datos de (SENER, 2013).

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

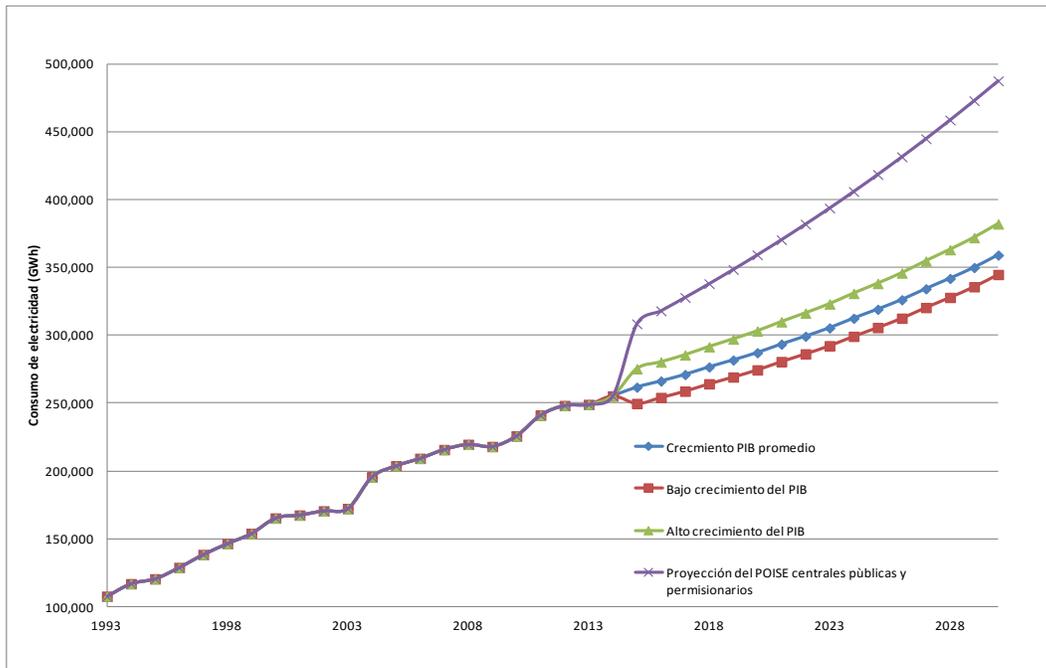


Figura 4.4: Proyección del consumo de electricidad dependiendo del crecimiento del PIB. Fuente: Elaboración propia.

## 4.5. ENERGÉTICOS UTILIZADOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Una vez aplicado el análisis con el modelo de abajo hacia arriba, se obtiene el consumo de combustibles que se utiliza para generación eléctrica desde 1993 hasta 2030 y se incluye el consumo de combustibles tanto de las centrales públicas y como de las centrales que no suministran al sector público o permisionarios. Este consumo se presenta en la figura 4.5. En 2030 el gas seco (Gas Natural) será el combustible más utilizado, y su porcentaje de participación llegará hasta casi el 60%, seguido por el carbón y el combustóleo. La participación de las energías renovables sólo se limitará principalmente a la hidroenergía y a la energía eólica, evidenciando que no hay una política que provoque que esto cambie, pues los datos de proyección provienen de documentos oficiales publicados por CFE y la SENER. Las NOM's contribuirán de manera importante a la reducción del consumo de electricidad en los sectores en los que se apliquen como un instrumento para promover la eficiencia energética.

En el Anexo 4 se presentan las NOM's de eficiencia energética vigentes en el mes de enero del año 2016.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

La oferta en forma de generación se obtuvo de los planes de expansión del sector eléctrico. Por lo tanto, ambos proporcionan resultados independientes.

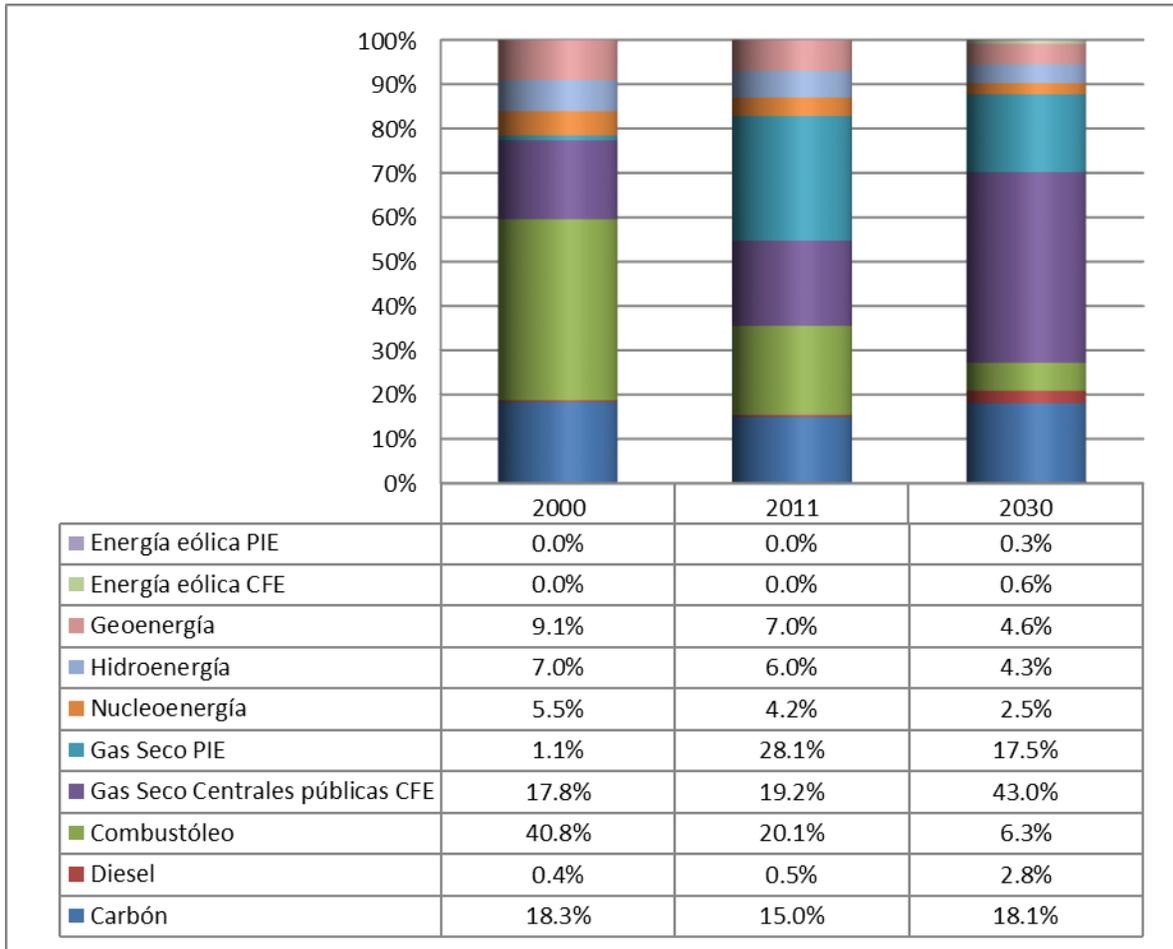


Figura 4.5: Distribución del consumo de combustibles en centrales públicas de generación eléctrica en el año 2000, 2011 y 2030. Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2013).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

### 4.6. FACTOR DE EMISIÓN POR GENERACIÓN ELÉCTRICA

Una vez estimado el consumo de combustibles, se pudo estimar el factor de emisión de gases de efecto invernadero por la generación de electricidad en los sectores energéticos. La variación de este factor se encuentra en la figura 4.6 y los valores en la tabla 4.4 para el periodo 1993-2010. Este factor es el que se aplicó para estimar las emisiones por uso de la electricidad en todos los sectores.

El factor de emisión de gases de efecto invernadero por generación eléctrica ha estado cambiando, y esto prueba que la generación eléctrica es diferente cada año dependiendo de muchos factores, incluyendo costos marginales, eficiencia de generación, condiciones meteorológicas, nuevas plantas de generación y de la mezcla de las fuentes de energía primarias. Sin embargo, este no cambiará significativamente porque se espera que las nuevas plantas de generación trabajen con gas natural que, a pesar de tener el menor factor de generación de GEI de los combustibles fósiles utilizados. Las tasas medias de crecimiento anual que se prevén para el consumo de combustibles en el Servicio Público de Generación Eléctrica son de 4.40% para el gas natural y 1.27% para el carbón. Por el contrario, el combustóleo y el diésel decrecerán 9.85% y 8.21% respectivamente (CFE, 2014). La reducción en el consumo de combustóleo se debe principalmente a:

- Aumento en el uso de gas natural en centrales existentes, por su bajo precio en relación con el combustóleo y para cumplir con la normativa ambiental.
- Incremento de la capacidad instalada de ciclos combinados con base en gas natural.
- Las centrales carboeléctricas en operación, y a las programadas entre los años 2022 y 2025, con tecnologías Nueva Generación Limpia en las cuales se considera la captura y secuestro de carbono.
- La suposición de que las centrales localizadas en las regiones de La Paz y Todos Santos en Baja California Sur, operan con gas a partir de 2026.
- Retiro de unidades termoeléctricas convencionales con baja eficiencia y bajo factor de planta.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

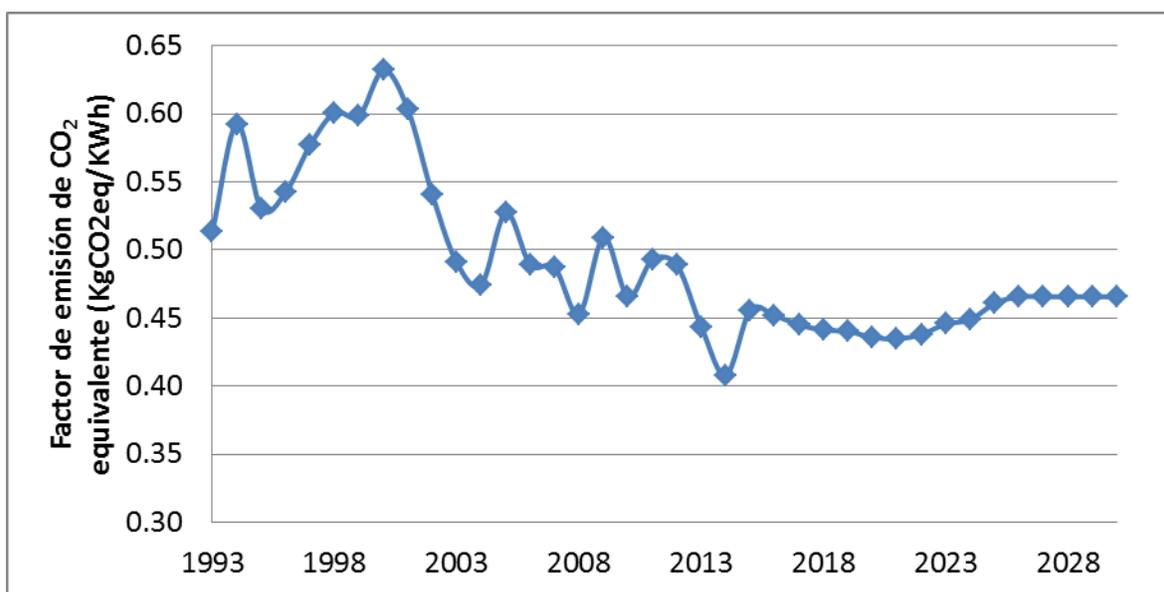


Figura 4.6: Variación del factor de emisión de GEI para la generación eléctrica en el periodo 1993-2030. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4: Factor de emisión de gases de efecto invernadero por generación eléctrica en Kg de dióxido de carbono equivalente por KWh generado. Fuente: Elaboración propia.

| Año  | Factor de Emisión | Año  | Factor de Emisión | Año  | Factor de Emisión |
|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|
| 1993 | 0.51              | 2006 | 0.49              | 2019 | 0.44              |
| 1994 | 0.59              | 2007 | 0.49              | 2020 | 0.44              |
| 1995 | 0.53              | 2008 | 0.45              | 2021 | 0.43              |
| 1996 | 0.54              | 2009 | 0.51              | 2022 | 0.44              |
| 1997 | 0.58              | 2010 | 0.47              | 2023 | 0.45              |
| 1998 | 0.60              | 2011 | 0.49              | 2024 | 0.45              |
| 1999 | 0.60              | 2012 | 0.49              | 2025 | 0.46              |
| 2000 | 0.63              | 2013 | 0.44              | 2026 | 0.47              |
| 2001 | 0.60              | 2014 | 0.41              | 2027 | 0.47              |
| 2002 | 0.54              | 2015 | 0.46              | 2028 | 0.47              |
| 2003 | 0.49              | 2016 | 0.45              | 2029 | 0.47              |
| 2004 | 0.47              | 2017 | 0.44              | 2030 | 0.47              |
| 2005 | 0.53              | 2018 | 0.44              |      |                   |

Debe mencionarse a este respecto que sí se coincide en las estimaciones realizadas con el MEEM con la reducción en el uso de combustóleo debido a que se retiran centrales de generación que lo utilizan, pero el uso del diésel sigue aumentando, pues en el programa de retiros no figuran centrales que utilicen diésel como energético primario y todas las

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

centrales que están en Baja California Sur se proyectaron con consumo de diésel, pues es hasta 2016, y aún es un proyecto, la construcción del gasoducto que llevará Gas Natural Comprimido (GNC) que conectará a Puerto Libertad o Topolobampo con un punto cercano a la Ciudad de La Paz.

En los escenarios de planeación publicados en la prospectiva del sector eléctrico se presentan por primera vez dos escenarios de expansión de capacidad para el periodo prospectivo 2012-2026 (SENER, 2012). En uno se muestra el programa de expansión del servicio público plasmado en el POISE, para el periodo 2012-2026 (escenario Inercial), dicho escenario integra una participación de 30.3% de capacidad instalada en el Sistema Eléctrico a partir de tecnologías que utilizan fuentes no fósiles y renovables en 2026. Se estima que esta participación estará integrada por 18.0% de capacidad hidroeléctrica, 8.2% eoloeléctrica, 1.7% nucleoeléctrica y el 2.4% restante correspondiente a la capacidad geotermoeléctrica, solar y biogás. El otro escenario es el ENE, el cual presenta una visión de la expansión de capacidad que permite alcanzar las metas planteadas y establecidas en la LAERFTE y se busca incrementar la participación de la generación con fuentes no fósiles a 35% en 2026. Para este cometido se elaboraron, a su vez, tres escenarios alternos con diferentes participaciones de tecnologías denominados: escenario nuclear, escenario de renovables y escenario híbrido. Los dos últimos integran el respaldo necesario para efectos del Margen de Reserva. La característica común de estos tres escenarios es el cumplimiento de la meta de 65% de generación con fuentes fósiles. El 35% restante utiliza diferentes combinaciones de tecnologías en cada escenario alterno con fuentes renovables de energía como la solar y la eólica o con energía nuclear. Sin embargo, se ha establecido también, que el cumplimiento de la cota máxima de 65% en la producción de energía eléctrica con combustibles fósiles a 2026 es casi imposible pues presenta retos técnicos y económicos que hacen inviable alcanzarla (CFE, 2014).

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL

A partir de la fecha en que se creó la CONAE en 1989, México ha tenido una práctica de regulación para la eficiencia de equipos consumidores de energía eléctrica y térmica. De las 27 normas de eficiencia energética publicadas al cierre de 2012, 10 pueden aplicarse al Sector Residencial y varias de ellas han sufrido actualizaciones, como se muestra en la tabla 5.1. Las normas técnicas enfocadas en limitar el consumo energético en equipos, dispositivos y sistemas comercializados en México es una prioridad para asegurar ahorros energéticos garantizando su calidad y su desempeño energético. Además de promover la transición hacia tecnologías más eficientes energéticamente.

**Tabla 5.1: NOM de eficiencia energética publicadas y actualizadas en el periodo 1995-2013. Fuente: (SENER, 2014a).**

| <b>Clave (Última versión)</b> | <b>Nombre</b>  | <b>Entra en vigor por primera vez</b> | <b>Fecha de la Primera Actualización</b> | <b>Fecha de la Segunda Actualización</b> | <b>Fecha de la tercera Actualización</b> |
|-------------------------------|--|---------------------------------------|--|--|--|
| NOM-003-ENER-2011             | Calentadores de agua para uso doméstico y comercial      | 07/05/1997                            | 28/02/2001                               | 07/11/2011                               |  |
| NOM-004-ENER-2008             | Bombas y conjunto motor-bomba para bombeo de agua limpia | 23/12/1995                            | 23/09/2008                               |  |  |
| NOM-005-ENER-2012             | Lavadoras de ropa electrodomésticas                      | 28/10/1997                            | 28/10/2000                               | 03/06/2010                               | 04/02/2013                               |
| NOM-015-ENER-2012             | Refrigeradores y congeladores electrodomésticos.         | 01/01/1995                            | 01/08/1997                               | 16/05/2003                               | 16/05/2012                               |
| NOM-017-ENER/SCFI-2012        | Lámparas fluorescentes compactas autobalastadas.         | 23/06/1998                            | 24/12/2008                               | 13/03/2013                               |  |
| NOM-021-ENER/SCFI-2008        | Acondicionamiento de aire tipo cuarto                    | 01/01/1995                            | 24/06/2001                               | 31/01/2009                               |  |
| NOM-023-ENER-2010             | Acondicionadores de aire tipo dividido                   | 01/09/2011                            |  |  |  |
| NOM-025-ENER-2013             | Estufas de cocción de alimentos                          | 14/12/2013                            |  |  |  |
| NOM-028-ENER-2013             | Lámparas para uso general                                | 04/02/2011                            |  |  |  |
| NOM-030-ENER-2012             | Lámparas de diodos emisores de luz (LED)                 | 22/08/2012                            |  |  |  |

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

## 5.1. CONSUMO DE ELECTRICIDAD

### 5.1.1. BASES PARA EL ANÁLISIS

La proyección del consumo de energía se realizó de acuerdo al modelo Button-up o por usos finales y el análisis del consumo de electricidad en los electrodomésticos de este sector se realizó considerando los límites de eficiencia energética que marcan las NOM's aplicables en el periodo 1993-2012; estos se presentan en la figura 5.1. En el caso de las luminarias se considera la sustitución de focos incandescentes por LFC. De 2012 en hasta 2030 se suponen los ajustes en las NOM's de acuerdo a la tabla 3.2.

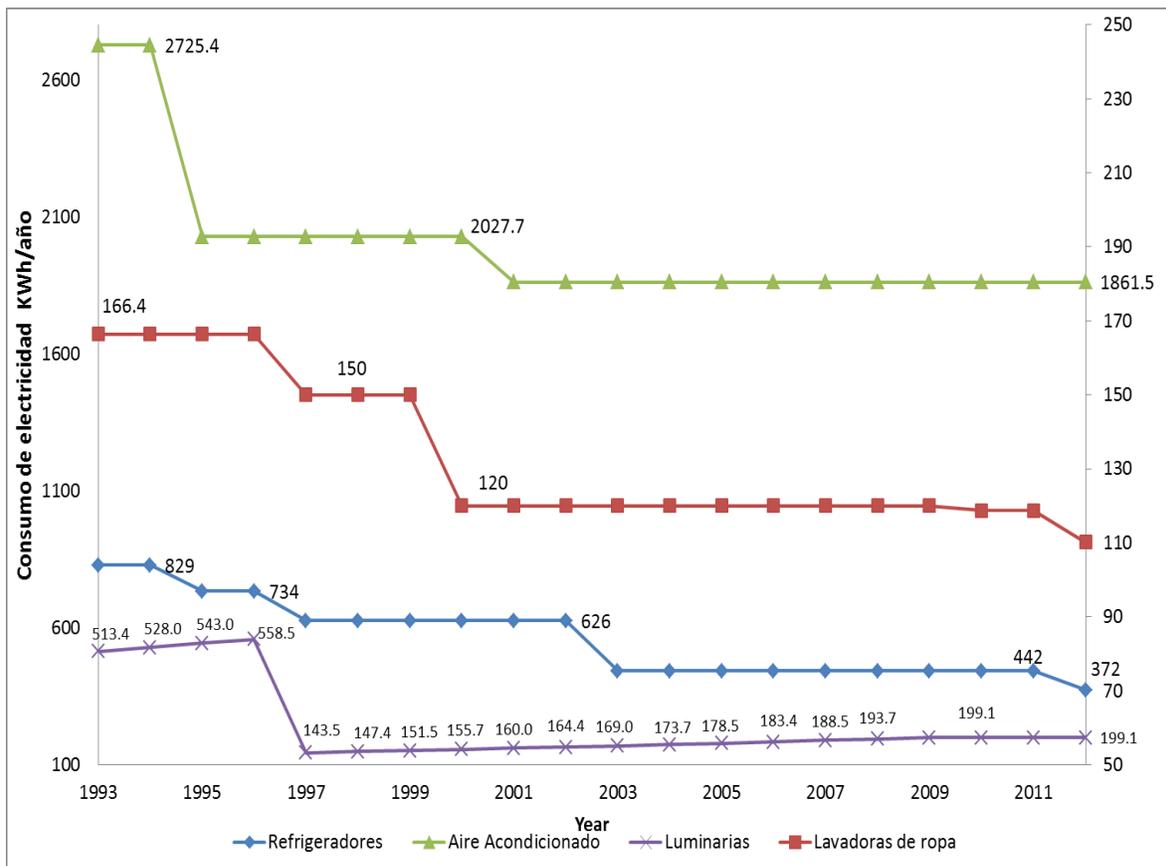


Figura 5.1: Consumos estandarizados de los electrodomésticos en México de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética en el periodo 1993-2012, excepto para las luminarias para las cuales se considera un cambio de tecnología. Fuentes: (SENER, 2008)(SENER, 2012)(SENER, 2014b)(SENER, 2014c)(SENER, 2014d)(SENER, 2014e)(SENER, 2014f).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

### 5.1.2. RESULTADOS

Con la aplicación del Modelo de Sustitución Tecnológica y los datos de la figura 5.1 se estimaron los consumos promedio para los electrodomésticos en el periodo de 1993-2014, estos se presentan en la tabla 5.2. La disminución más importante en términos de porcentaje de reducción fue la correspondiente a las luminarias (58%), seguido por los refrigeradores (47%), equipos de aire acondicionado (32%) y lavadoras de ropa (30%).

En el capítulo anterior se estimó el valor esperado de consumo de electricidad de 89,700 GWh para el año 2030.

**Tabla 5.2: Consumo ponderado de los electrodomésticos en el periodo 1993-2014 en (KWh/año). Fuente: Elaboración propia. Nota: En el caso de iluminación se considera el consumo de una sola luminaria.**

| Año  | Refrigeradores | Lavadoras de ropa | Aire acondicionado | Luminarias |
|------|----------------|-------------------|--------------------|------------|
| 1993 | 829.0          | 166.40            | 2,725.4            | 109.5      |
| 1994 | 829.0          | 166.40            | 2,725.4            | 109.5      |
| 1995 | 821.3          | 166.40            | 2,670.6            | 109.5      |
| 1996 | 815.9          | 166.40            | 2,628.8            | 109.5      |
| 1997 | 807.2          | 164.95            | 2,555.7            | 108.0      |
| 1998 | 798.8          | 158.81            | 2,239.2            | 106.6      |
| 1999 | 790.7          | 157.50            | 2,194.3            | 105.2      |
| 2000 | 782.8          | 153.07            | 2,154.8            | 103.6      |
| 2001 | 772.1          | 148.60            | 2,096.2            | 102.3      |
| 2002 | 761.9          | 144.36            | 2,043.6            | 100.7      |
| 2003 | 740.8          | 140.83            | 2,004.2            | 98.7       |
| 2004 | 720.7          | 137.13            | 1,962.1            | 96.3       |
| 2005 | 701.8          | 133.62            | 1,949.3            | 93.4       |
| 2006 | 683.7          | 130.94            | 1,937.9            | 89.9       |
| 2007 | 666.4          | 128.98            | 1,924.7            | 85.6       |
| 2008 | 522.3          | 121.98            | 1,883.2            | 80.3       |
| 2009 | 502.5          | 120.00            | 1,872.0            | 73.8       |
| 2010 | 487.5          | 119.86            | 1,861.5            | 66.0       |
| 2011 | 476.5          | 119.73            | 1,861.5            | 61.2       |
| 2012 | 467.0          | 118.71            | 1,861.5            | 55.8       |
| 2013 | 448.2          | 117.8             | 1861.5             | 50.8       |
| 2014 | 439.0          | 116.8             | 1861.5             | 45.5       |

El ahorro de electricidad en el periodo 1995-2012 debido a las Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética se estimaron por la SENER en 47,508GWh (SENER, 2014a). Sin embargo, esta cifra incluye a todos los sectores consumidores de energía en

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

México y no solo al sector residencial. Como consecuencia la importancia de estos ahorros ha sido disminuida, y por ello, se realizaron estimaciones más exactas para conocer el efecto real que tuvieron las NOM's de eficiencia energética en este sector. Los resultados obtenidos hasta 2012 para los electrodomésticos analizados son los que se presentan en la tabla 5.3, y se estimaron en 26,372GWh; y, en orden de importancia, esta reducción se debió a la iluminación, refrigeradores, equipos de aire acondicionado y lavadoras de ropa. Con estos valores y el consumo estimado si no se hubieran aplicado las NOM's, se obtuvo el consumo de energía en el escenario de mitigación (o con aplicación de NOM's) y en el escenario base, respectivamente (Figura 5.2).

**Tabla 5.3: Ahorro de energía eléctrica debido a la implementación de las normas oficiales mexicanas en el periodo 1993-2012. Fuente: elaboración propia.**

| Año  | Ahorros Energéticos (GWh) |                   |                    |             |        |
|------|---------------------------|-------------------|--------------------|-------------|--------|
|      | Refrigeradores            | Lavadoras de ropa | Aire Acondicionado | Iluminación | Total  |
| 1993 | 0                         | 0                 | 0                  | 0           | 0      |
| 1994 | 0                         | 0                 | 0                  | 0           | 0      |
| 1995 | 96                        | 0                 | 94                 | 0           | 190    |
| 1996 | 171                       | 0                 | 172                | 0           | 343    |
| 1997 | 293                       | 14                | 332                | 154         | 793    |
| 1998 | 419                       | 75                | 1,043              | 309         | 1,846  |
| 1999 | 548                       | 94                | 1,242              | 476         | 2,359  |
| 2000 | 681                       | 149               | 1,448              | 690         | 2,968  |
| 2001 | 882                       | 211               | 1,729              | 887         | 3,711  |
| 2002 | 1,093                     | 278               | 2,023              | 1,142       | 4,535  |
| 2003 | 1,513                     | 342               | 2,303              | 1,468       | 5,627  |
| 2004 | 1,952                     | 415               | 2,617              | 1,889       | 6,874  |
| 2005 | 2,412                     | 494               | 2,850              | 2,430       | 8,186  |
| 2006 | 2,876                     | 556               | 3,133              | 3,164       | 9,729  |
| 2007 | 3,360                     | 611               | 3,369              | 4,120       | 11,461 |
| 2008 | 6,612                     | 755               | 3,749              | 5,365       | 16,482 |
| 2009 | 7,345                     | 822               | 4,018              | 6,987       | 19,171 |
| 2010 | 8,018                     | 858               | 4,303              | 8,853       | 22,032 |
| 2011 | 8,550                     | 890               | 4,521              | 10,138      | 24,100 |
| 2012 | 9,069                     | 941               | 4,751              | 11,610      | 26,372 |

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

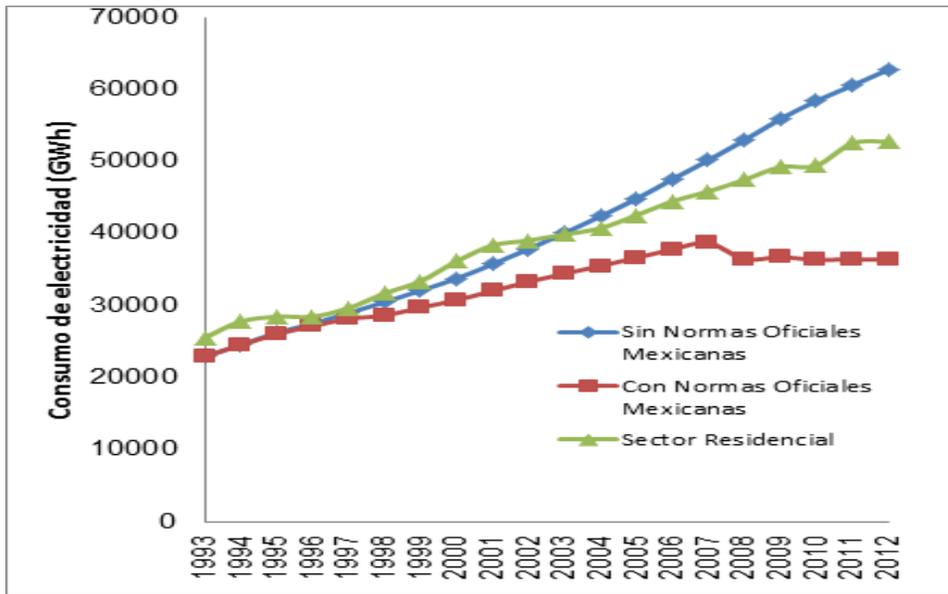


Figura 5.2: Escenarios de consumo de electricidad en el sector residencial mexicano para el periodo 1993-2012.  
Fuente: Elaboración propia.

La evolución y distribución de los consumos de electricidad en el sector residencial mexicano se presentan en la figura 5.3, el cual se distribuyó en el año 2014 de la siguiente manera: Iluminación 19%, conservación de alimentos 25%, entretenimiento 16%, lavado de ropa 5%, acondicionamiento de aire 22% y otros usos 13%. En 2030 el mayor uso será para iluminación, seguido por los refrigeradores y las televisiones.

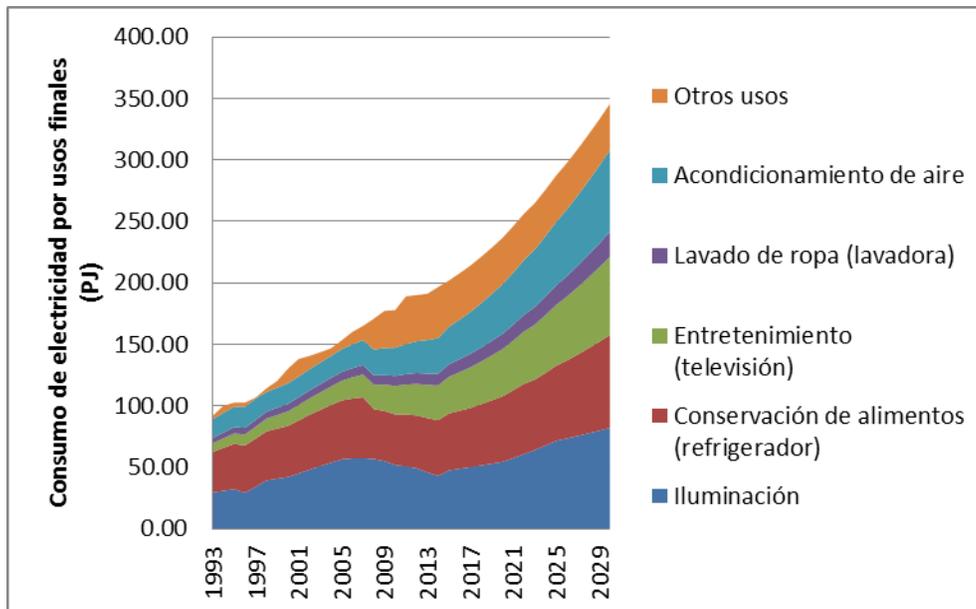


Figura 5.3: Evolución del consumo de electricidad por usos finales en el sector residencial mexicano.  
Fuente: Elaboración propia.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

A continuación se realiza el análisis del consumo de electricidad en dos periodos: 1993-2012 y 2013-2030.

### Periodo de 1993-2012

El importante incremento en el número de electrodomésticos evaluados en el periodo de análisis es debido a la población, ya que el número de viviendas particulares habitadas y la saturación de los mismos han crecido. Las viviendas particulares habitadas pasaron de 17.95 millones en 1993 hasta 30.28 millones en 2012. En el caso de los refrigeradores, la saturación incrementó desde 61.29% en 1993 hasta 82.72% en 2012; las lavadoras pasaron de 40.77% a 65.16% y los equipos de aire acondicionado de 8.6% a 18.16%.

Los equipos de aire acondicionado son utilizados principalmente en los lugares del país donde la temperatura promedio en el verano supera los 40°C y representan la saturación más baja. Por lo tanto, el incremento más grande corresponde a aquellos electrodomésticos cuya saturación es más lejana al 100%. Con base en un estudio publicado por la SENER, los equipos de aire acondicionado pueden sustituirse en las regiones en las que la tarifa eléctrica es de las clases 1C, 1D, 1E y 1F; se buscó a los estados que tienen esas tarifas, y en ellos el aire acondicionado se llevó hasta el valor de 50% de saturación. En los otros estados se dejó la saturación de referencia registrada en 2010 que es del 18% (INEGI). De esta manera, se estimó que la saturación máxima de los acondicionadores de aire llegará a 26.55%. La mayoría de estos equipos usados en México son de tipo cuarto individual de acuerdo con Rosas y Sheinbaum (Sheinbaum & Rosas, 2010). Hubieron tres actualizaciones a la norma (NOM-021-ENER) referente a equipos de aire acondicionado, pero solo dos se relacionaron con la eficiencia energética; la publicada en 2009 se enfocó en los requisitos de seguridad y los valores de eficiencia energética son similares a los publicados en el año 2000, el consumo energético anual se estimó considerando un uso diario de 5h durante 365 días al año. Es cierto que FIPATERM ha tenido influencia en la reducción del consumo eléctrico de los equipos de aire acondicionado porque el aislamiento térmico reduce los requerimientos de acondicionamiento del aire y, además incluye la sustitución de estos equipos y refrigeradores viejos por equipos nuevos. Los ahorros energéticos por FIPATERM relacionados con el aislamiento térmico se estimaron en 3,410GWh desde 1990 a 2013(Gómez, 2014)

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

En el caso de las luminarias, se considera que la saturación es similar a la tasa de electrificación, el incremento se debió al incremento en la tasa de electrificación, pero también debido a que el hogar promedio en México tiene más focos o lámparas, cuyo número se incrementó de 4.68 a 7.8 entre 1993 y 2012; a la fecha se han publicado normas de eficiencia energética que permiten mayor eficiencia, pero esta es medida mediante la eficiencia luminosa que indica la cantidad de flujo luminoso emitido por una lámpara o luminaria y la potencia consumida expresada como lúmenes por watt (lm/W), esto implica que la reducción en el consumo eléctrico será reflejado por el cambio de tecnología de iluminación (reemplazo de focos incandescentes por LFC) de manera más clara. La tasa de reemplazo fue de 19.89% anual durante todo el periodo del escenario actual pero cayó a aproximadamente 4.8% durante el periodo 2007-2012. Es probable que la penetración tecnológica fuera más grande al principio. ILUMEX y otros programas gubernamentales tuvieron una influencia importante en la reducción del consumo de electricidad en el sector residencial porque se han reemplazado casi 48 millones de focos incandescentes hasta 2013(Gómez, 2014).

En algunos casos, como el aire acondicionado en el escenario tendencial o aire acondicionado, lavadoras, televisiones y luminarias en el escenario de mitigación, no existen equipos viejos al término del periodo debido que según el tiempo de vida útil se consideró que sólo existen equipos fabricados de acuerdo al último ajuste de eficiencia energética planteado.

La máxima reducción en el consumo promedio ponderado eléctrico anual fue observado en los refrigeradores (43.66%) porque la norma de eficiencia energética (NOM-015-ENER) se volvió más estricta 4 veces, los valores pasaron de 829 a 467KWh/año. En este aspecto, los refrigeradores fueron seguidos por los equipos de aire acondicionado (31.71%) y lavadoras (28.05%).

Desde 1993 la SENER (Secretaría de Energía) ha publicado cuatro normas de eficiencia energética para lavadoras (NOM-05-ENER) que condujeron a una eficiencia energética más alta. El consumo energético anual de una lavadora se determinó utilizando el factor de energía establecido en la norma y se multiplicó por el número de ciclos de lavado por año (392 de acuerdo a la ANCE).

Si no se hubieran implementado las Normas Oficiales Mexicanas, el consumo de energía por los electrodomésticos analizados e iluminación hubiera rebasado al consumo de

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

energía eléctrica total del sector residencial en México a partir del año 2009, tal como se observó en la figura 5.2. La diferencia entre el consumo de energía total del sector residencial y el consumo eléctrico por los electrodomésticos analizados corresponde al consumo de otros electrodomésticos como televisiones, bombas de agua, hornos de microondas, planchas, etc. Este estudio es compatible con el que fue publicado por la SENER que reporta que los ahorros obtenidos para el periodo 1995-2012 debido a las Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética que se estimaron en 47,508GWh, pero finalmente se estimó que, específicamente, 19,899GWh fueron debidos al sector residencial durante este periodo.

### Periodo de 2013 a 2030

Las televisiones tienen los índices de saturación más altas de todos los electrodomésticos alcanzando 181% en 2012 (casi 2 TV por hogar) y se estima que alcanzará 295% en 2030. Las televisiones encontradas en el mercado mexicano de electrodomésticos en el año 2015 corresponden exclusivamente a las del tipo LED. Es evidente que si se reemplazan viejas televisiones con nuevas fabricadas con nuevas tecnologías LED con mayor eficiencia energética se podría alcanzar el ahorro más importante en este periodo y es lo que se propone como medida de mitigación. El consumo energético unitario se estimó asumiendo una potencia de consumo para un televisor de bulbo de rayos catódicos de 70W y que es usada durante aproximadamente 5 horas diarias.

Se estima que la saturación de los refrigeradores pasará de 83% en 2013 a 114% en 2030, la de las lavadoras de 70% a 104%, equipos de aire acondicionado de 12% a 20% y la tasa de electrificación de 98.49% a 99.92%.

Debe tenerse en cuenta que el escenario tendencial se compara con el escenario de mitigación, y que éste último fue construido a partir de los electrodomésticos más eficientes encontrados en México en el año 2015. Si los ajustes propuestos se aplican desde 2015 habrá una reducción significativa en el consumo de electricidad durante el periodo 2013-2030.

El potencial de ahorro de energía eléctrica acumulado por ajustes en la normatividad propuestos para el periodo de 2013-2030 asciende a aproximadamente 35,000GWh. Este ahorro se define a partir de los consumos unitarios de los electrodomésticos e iluminación registrados en 2012. El mayor potencial se registra en las televisiones por su elevada saturación y uso intensivo, seguido por los refrigeradores, equipos de aire

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

acondicionado, iluminación y lavadoras. El consumo de energía eléctrica por los electrodomésticos propuestos en el escenario de mitigación no incrementará de manera significativa en el sector residencial en México en el periodo de 2013 a 2030 si se aplican los ajustes en la normatividad de eficiencia energética (Figura 5.4), pues pasaría de 39,000 a 41,607 GWh y considerando el efecto rebote (que se presenta en el siguiente apartado) podría llegar hasta 47,000GWh. Lo que indica que los esfuerzos por incrementar la eficiencia energética deben acompañarse por otras medidas como impuestos a las tarifas eléctricas más estrictos para disminuir el alto consumo de electricidad, sobre todo, para las población de más altos ingresos. Sin embargo, en caso de que no se haga más estricta la normatividad, el consumo de electricidad en el sector residencial se incrementará a aproximadamente 76,500 GWh. El ahorro energético proyectado para este periodo se presenta en la tabla 5.4 en la cual se muestra que pueden ahorrarse hasta 33,920 GWh de electricidad en el año 2030.

**Tabla 5.4: Ahorro estimado de energía eléctrica por implementación de las medidas de mitigación propuestas en el periodo 2015-2030. Fuente: Elaboración propia.**

| Año  | Energía ahorrada (GWh) |                   |                    |             |              | Total  |
|------|------------------------|-------------------|--------------------|-------------|--------------|--------|
|      | Refrigeradores         | Lavadoras de ropa | Aire acondicionado | Iluminación | Televisiones |        |
| 2015 | 144                    | 86                | 166                | 1,950       | 135          | 2,481  |
| 2016 | 318                    | 163               | 345                | 2,011       | 282          | 3,118  |
| 2017 | 499                    | 247               | 538                | 2,074       | 472          | 3,830  |
| 2018 | 689                    | 422               | 928                | 2,139       | 818          | 4,996  |
| 2019 | 888                    | 519               | 1,150              | 2,207       | 1,045        | 5,808  |
| 2020 | 1,367                  | 759               | 1,784              | 2,412       | 1,610        | 7,932  |
| 2021 | 1,791                  | 1,029             | 2,437              | 4,789       | 2,293        | 12,339 |
| 2022 | 2,184                  | 1,315             | 3,123              | 5,143       | 2,835        | 14,599 |
| 2023 | 2,609                  | 1,607             | 3,822              | 5,376       | 3,369        | 16,783 |
| 2024 | 4,282                  | 1,923             | 4,571              | 5,532       | 3,976        | 20,284 |
| 2025 | 4,815                  | 2,171             | 5,191              | 5,692       | 4,482        | 22,350 |
| 2026 | 5,341                  | 2,414             | 5,850              | 5,857       | 5,023        | 24,485 |
| 2027 | 5,850                  | 2,672             | 6,551              | 6,026       | 5,643        | 26,744 |
| 2028 | 6,378                  | 3,060             | 7,612              | 6,201       | 6,482        | 29,733 |
| 2029 | 6,925                  | 3,353             | 8,401              | 6,380       | 7,198        | 32,257 |
| 2030 | 7,347                  | 3,525             | 8,829              | 6,565       | 7,654        | 33,920 |

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Los resultados obtenidos con el MEEM son muy próximos a los publicados por la SENER en la "Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026", con diferencias que oscilan en un intervalo menor a  $\pm 5\%$ . Según este documento el crecimiento en el consumo de electricidad por parte del sector residencial crecerá a un ritmo de 3.3% por año. Sin embargo, esta publicación de la SENER considera otro escenario con ahorro (con una tasa de crecimiento de 2.3% anual) derivado de las estrategias y medidas establecidas en el PRONASE, 2009-2012 para el ahorro de energía, el cual considera 5 rubros para implementar las medidas, tales como: iluminación, equipos de hogar y de inmuebles, acondicionamiento de edificaciones, motores industriales y bombas de agua agrícolas y de servicios públicos. Se establece que en el escenario de planeación, 71.7% del total de ahorro de 37.5 TWh en 2025 se registrará en el sector residencial. Esta fuerte participación se deriva de importantes cambios en las Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética de lámparas para uso general y en la sustitución de focos incandescentes.

### 5.1.3. INFLUENCIA DEL EFECTO REBOTE

Se sabe que las reducciones de dióxido de carbono equivalente potenciales resultantes de las mejoras tecnológicas en el consumo de electricidad puede reducirse mediante el "efecto rebote" que se refiere a una disminución en los ahorros eléctricos debido la reducción de la factura eléctrica y de esa manera, se tiende a desperdiciar la energía (Greening, 2000).

Es por ello que para el periodo 2015-2030 se han desarrollado dos escenarios adicionales uno para una alta influencia del efecto de rebote en las estimaciones y el otro para una baja influencia. Los factores que se aplican al consumo de energía para la construcción de estos últimos escenarios se muestran en la tabla 5.5; por lo tanto, el ahorro de energía y las emisiones de dióxido de carbono se reducen en la misma proporción. En el caso de los frigoríficos y lavadoras el consumo de electricidad no se ve afectado con una mayor eficiencia, ya que tienen un tiempo específico de funcionamiento. En la figura 5.4 se muestran los escenarios obtenidos para este sector considerando el efecto rebote.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Tabla 5.5: Factores de incremento en el consumo de energía considerados para la construcción de nuevos escenarios de consumo de energía en el sector residencial para el periodo 2015-2030. Fuente: (Greening, 2000).

| Electrodomésticos  | Escenario de bajo rebote | Escenario de alto rebote |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| Refrigerador       | 0%                       | 0%                       |
| Lavadoras de ropa  | 0%                       | 0%                       |
| Aire acondicionado | 25%                      | 50%                      |
| Luminarias         | 5%                       | 12%                      |
| Television         | 5%                       | 12%                      |

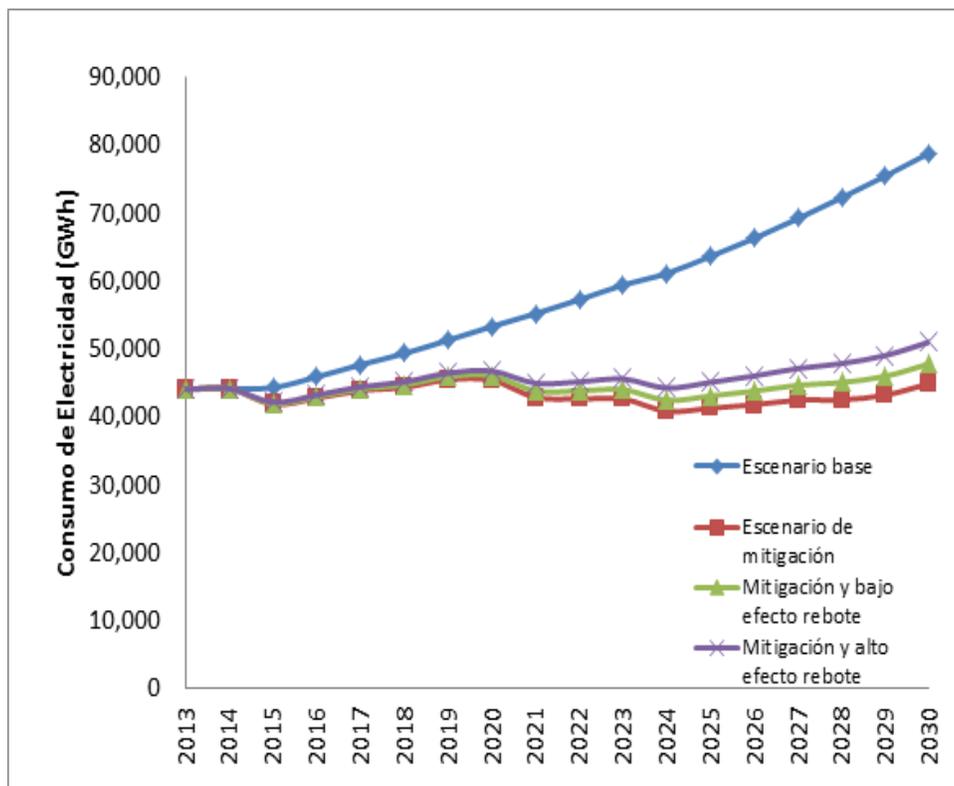


Figura 5.4: Escenarios obtenidos por la implementación de las medidas de mitigación propuestas para los electrodomésticos del sector residencial.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 5.2. CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA

El análisis se realiza con base en los dos combustibles principales utilizados para este propósito, que son el GLP y el Gas Natural, y para los cuales existen documentos oficiales.

- Consumo de GLP

Los dos usos principales de este energético es la cocción de alimentos y el calentamiento de agua. En el caso de éste último se tomó en cuenta a los estados del país que en el 2012 tuvieron una temperatura media inferior a la temperatura media anual del país y en ellos la saturación de calentadores de agua se llevaron al valor más alto a nivel nacional en 2010, es decir 79.19%, registrado en la Ciudad de México, los restantes se dejaron con la saturación registrada en 2010. Por lo tanto, la saturación de calentadores en 2030 se estima que será de 56%.

La saturación de estufas para cocción de alimentos que funcionan con gas LP pasará de 89.3% a 93.3% de 2015 a 2030. En este rubro debe establecerse que la SENER en su “Prospectiva del Mercado del Gas Licuado de Petróleo 2010-2025” considera un crecimiento muy bajo, de sólo de 0.3% en el consumo, derivado del ahorro por distintas medidas de aprovechamiento eficiente y sustentable de la energía. El ahorro en el consumo de este energético que se establece en la prospectiva se pretende alcanzar mediante: implementación de calentadores solares (se espera un ahorro de 12.6 miles de barriles diarios (mbd) en 2025), incremento en las eficiencias de calentadores convencionales (29.2 mbd en 2025), reemplazo de estufas de piloto por encendido electrónico (7.9 mbd en 2025) y al desplazamiento de gas LP por energía eléctrica a través del uso de hornos de microondas (3.3 mbd en 2025). Se espera que la tecnología de los calentadores de gas cambie con paso de los años, haciendo que su eficiencia mejore al pasar de 74% a 76% de 2010 a 2025; además, se fabricarán con mejores materiales aislantes, lo que permitirá mantener el agua caliente por más tiempo y, con ello, ahorrar energía al disminuir el número de veces que se activa dicho calentador. En total se espera un ahorro de 53.1mbd que equivalen a 82.5PJ(SENER, 2012).

- Consumo de Gas Natural

Los usos principales son los mismos que para el gas LP y el análisis por usos finales es muy similar al mismo. Según establece la SENER en su “Prospectiva del Mercado de Gas

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Natural 2010-2025” el consumo de gas natural por el sector residencial crecerá a un ritmo de 3.2% (SENER, 2014g). La prospectiva considera el desplazamiento de gas LP debido a las expectativas de expansión e inversión en infraestructura de gas natural por parte de empresas privadas provocará que más usuarios en el país puedan disponer de éste para cocción de alimentos y calentamiento de agua.

### 5.3. RESULTADOS GLOBALES DEL SECTOR RESIDENCIAL

Al integrar los usos finales de la energía en el sector residencial, se obtiene la distribución que se presenta en la figura 5.5. Debe recordarse que en la categoría de otros usos se incluyen todos los demás electrodomésticos y equipos de energía térmica que no se encuentran en las otras categorías.

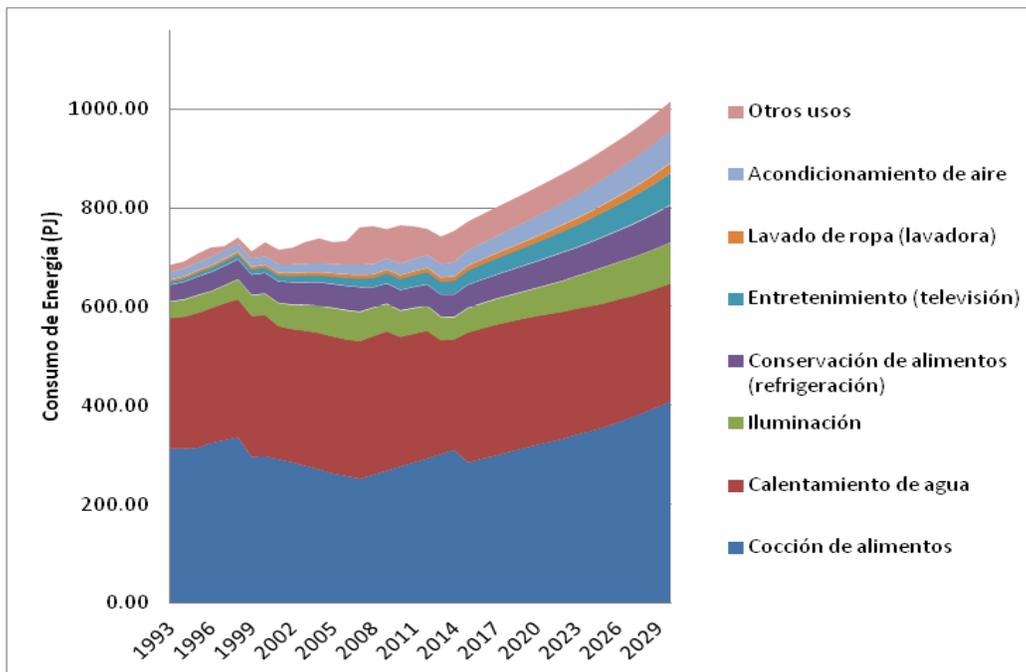


Figura 5.5: Distribución de la energía en los usos finales analizados en el sector residencial. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5.6 se presenta el consumo de energía obtenido para este sector por energético. En ella se aprecia la importancia de la electricidad, el GLP y la leña.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

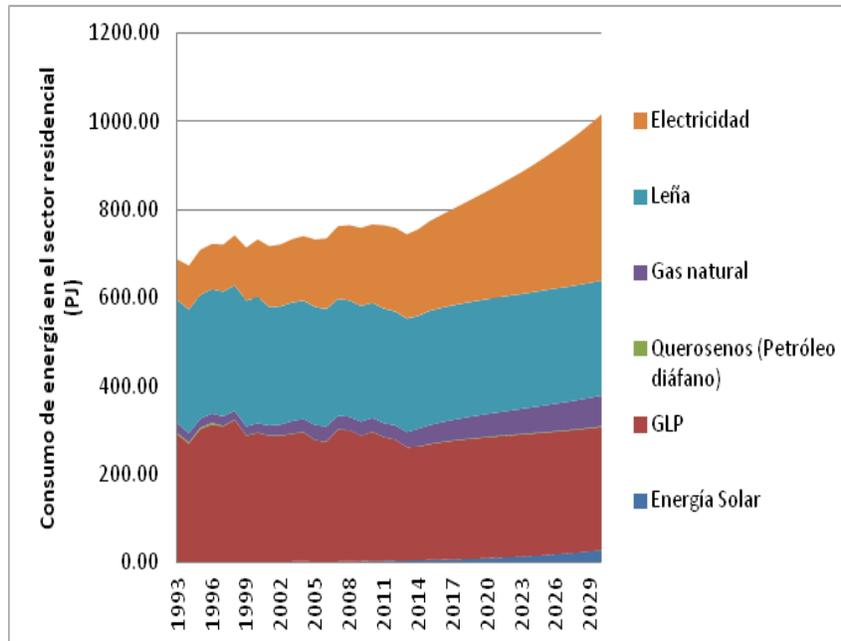


Figura 5.6: Distribución del consumo de energía en el sector residencial mexicano por energético. Fuente: Elaboración propia.

Una de las fuentes más importantes de energía en este sector la constituye la leña y residuos forestales que son quemados directamente para la obtención de energía destinada a cocción de alimentos, calentamiento de agua e iluminación principalmente en las comunidades rurales. Esto puede representar una gran oportunidad para mejorar la calidad de vida de éstas mediante la sustitución de la leña por GLP o electricidad, lo que puede representar un costo mayor para los usuarios finales y de aquí la importancia de incluir dentro del desarrollo sustentable un adecuado desarrollo económico.

Para explicar de manera más general los resultados se emplea el parámetro de intensidad energética que se expresa como el consumo por vivienda de los dos combustibles más utilizados en este sector, que son la electricidad y el gas LP (figura 5.7). Como se observa, ambos parámetros muestran una disminución global en el periodo de análisis debido a las estrategias para incrementar la eficiencia energética en los equipos de uso final principalmente mediante la implementación de NOM's. Otra razón muy importante es que se ha presentado una disminución en el número de habitantes por vivienda particular habitada, pues en 1993 había 4.8 y en 2014 pasó a 3.8. Esto último muestra, también, el fenómeno de disminución en el número de integrantes en las familias mexicanas.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

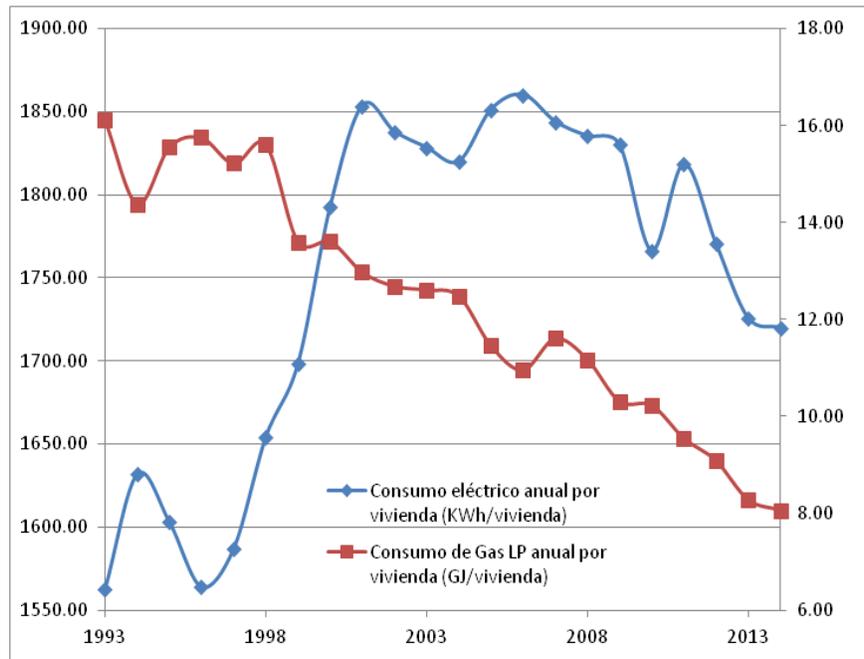


Figura 5.7: Intensidad energética en el sector residencial. Fuente: Elaboración propia. Los datos de consumo eléctrico se leen en la escala izquierda y los del consumo de Gas LP en la derecha.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

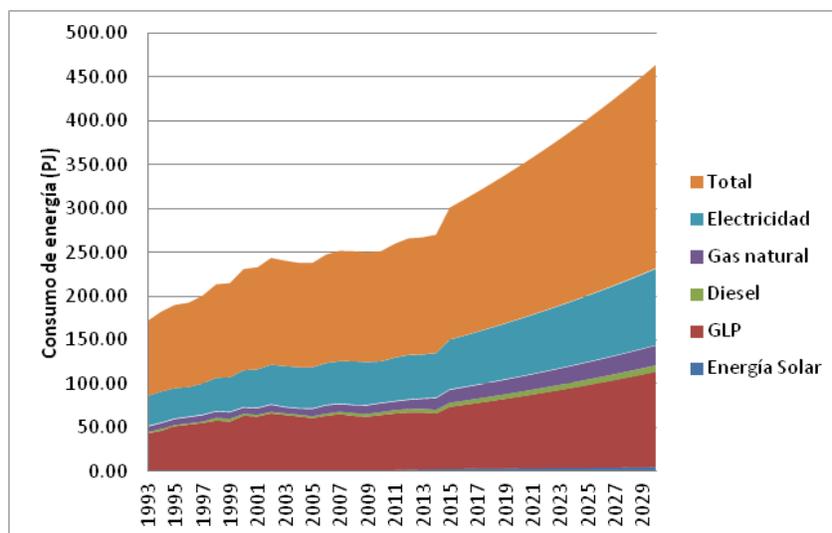
## 6. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS DEMÁS SECTORES

### 6.1. SECTOR COMERCIAL

Los usos finales principales de los energéticos utilizados en el sector comercial se presentan en la tabla 6.1; con excepción de la electricidad, que fueron presentados en el capítulo anterior. La distribución del consumo de energía en este sector por energético se presenta en la figura 6.1; el gas LP y la electricidad son los más importantes.

**Tabla 6.1: Usos finales de los energéticos identificados en el sector comercial. Fuente: Elaboración propia.**

| Combustible   | Uso final   |
|---------------|---|
| Energía Solar | Calentamiento de agua para centros recreativos, en específico para usos sanitarios y albercas.  |
| Gas LP        | Generación de agua caliente y vapor para limpieza, usos sanitarios y albercas.<br>Para cocción de alimentos en las actividades restauranteras.<br>Actividades de calefacción. |
| Diésel        | Combustible para maquinaria como, por ejemplo, bombas para extracción de agua potable.  |
| Gas Natural   | Generación de agua caliente y vapor para limpieza, usos sanitarios y albercas.<br>Para cocción de alimentos en las actividades restauranteras.<br>Actividades de calefacción. |



**Figura 6.1: Distribución del consumo de energía en el sector comercial por energético. Fuente: elaboración propia.**

Este sector ha experimentado una disminución gradual muy importante en la intensidad energética (figura 6.2) debido, principalmente, a las NOM's de eficiencia energética dirigidas a él, que se refieren principalmente a bombas y calentadores de agua, sistemas

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

de alumbrado, envolvente de edificios para incrementar el aislamiento térmico, equipos de aire acondicionado, máquinas tortilladoras mecanizadas y luminarias.

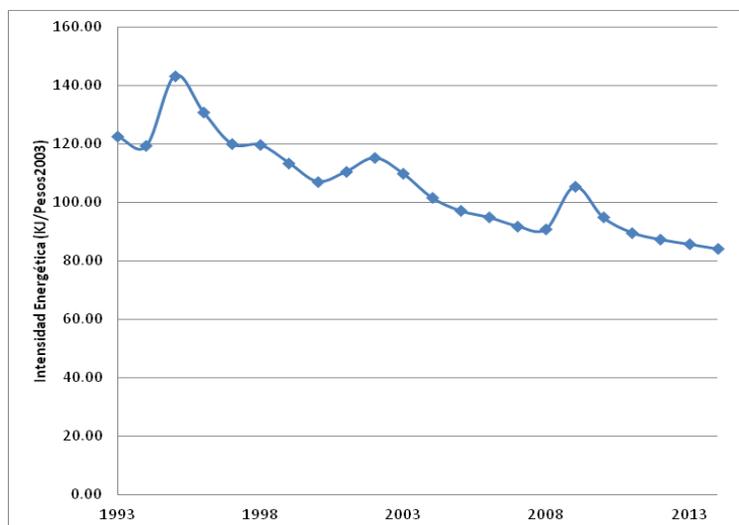


Figura 6.2: Intensidad energética en el sector comercial. Fuente: Elaboración propia.

### 6.2. SECTOR AGROPECUARIO

El consumo de energía del sector agropecuario comúnmente se divide en dos grandes categorías para facilitar su análisis; por un lado se agrupan los usos directos de energía, que son los que se realizan en las unidades de producción, tales como el uso de electricidad para bombeo de agua, el uso de diésel para labrar la tierra o recolectar la producción, etc. Por otro lado, los usos indirectos de energía son todos aquellos que se llevan a cabo fuera de las unidades de producción con la finalidad de fabricar los insumos que éstas requieren, como la elaboración de fertilizantes y plaguicidas.

En este estudio sólo se abordan los usos directos que se presentan en la tabla 6.2, más no la energía que se utiliza a lo largo del ciclo de vida de los insumos agrícolas, su estimación queda fuera del alcance de esta investigación..

Tabla 6.2: Usos finales de los energéticos en el sector agropecuario mexicano. Fuente: Elaboración propia.

| Combustible | Sector de uso | Uso final  |
|-------------|---------------|--|
| Gas LP      | Pecuario      | Generación de agua caliente y vapor para el saneamiento de instalaciones. Actividades de calefacción y aire acondicionado para el secado de semillas y hortalizas. |
| Querosenos  | Agrícola      | Combustible para maquinaria pesada en la agricultura como tractores, cosechadoras y segadoras.   |
| Diésel      | Agrícola      | Combustible para maquinaria pesada en la agricultura como tractores, cosechadoras y segadoras.   |

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

La distribución del consumo de energía por energético en este sector se presenta en la figura 6.3. Se observa que el diésel y la electricidad son los más importantes.

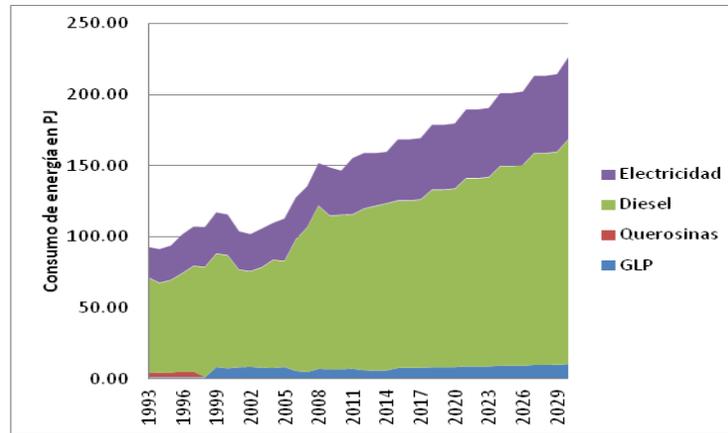


Figura 6.3: Distribución del consumo de energía en el sector agropecuario por energético. Fuente: elaboración propia.

La intensidad energética en este sector se ha incrementado (figura 6.4), se cree que ha sido como resultado de la disminución de eficiencia de la maquinaria agrícola por la elevada antigüedad y porque no han existido programas que promuevan el uso eficiente de la energía específicamente en este sector. Sin embargo, se observa que a partir de 2012 hay una disminución que puede atribuirse a que la nueva maquinaria agrícola es más eficiente en el uso de la energía. La SENER estima que el consumo de electricidad para bombeo agrícola crecerá a un ritmo de 2.1% anual y el del gas LP a 2% según las prospectivas respectivas (SENER, 2014).

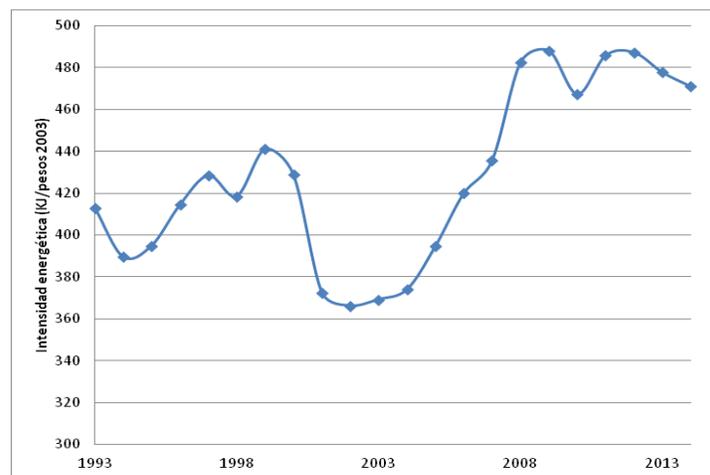


Figura 6.4: Intensidad energética en el sector agropecuario. Fuente: Elaboración propia.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

### 6.3. SECTOR INDUSTRIAL

Este sector es muy complejo y por ello los análisis tuvieron que realizarse para cada rama industrial en las que se divide el sector industrial según el Balance Nacional de Energía y las cuales se enlistan a continuación:

- Industria básica del hierro y del acero.
- Fabricación de cemento y productos a base de cemento en plantas integradas
- Elaboración de azúcares.
- Pemex Petroquímica.
- Industria química.
- Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas.
- Fabricación de pulpa, papel y cartón.
- Fabricación de vidrio y productos del vidrio.
- Elaboración de cerveza.
- Construcción.
- Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas no alcohólicas, purificación y embotellado de agua.
- Fabricación de automóviles y camiones.
- Fabricación de productos del hule.
- Fabricación de fertilizantes.
- Elaboración de productos de tabaco.
- Otras ramas.

De estas ramas, las más intensivas en el uso de la energía son: industria básica del hierro y el acero, la industria de fabricación de cemento, la industria química, la industria de PEMEX petroquímica y la industria de minerales metálicos y no metálicos, como se muestra en la figura 6.5.

La distribución del consumo de energía por energético en este sector se presenta en la figura 6.6. Los energéticos más importantes en este sector son el gas seco, la electricidad y el coque de petróleo.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

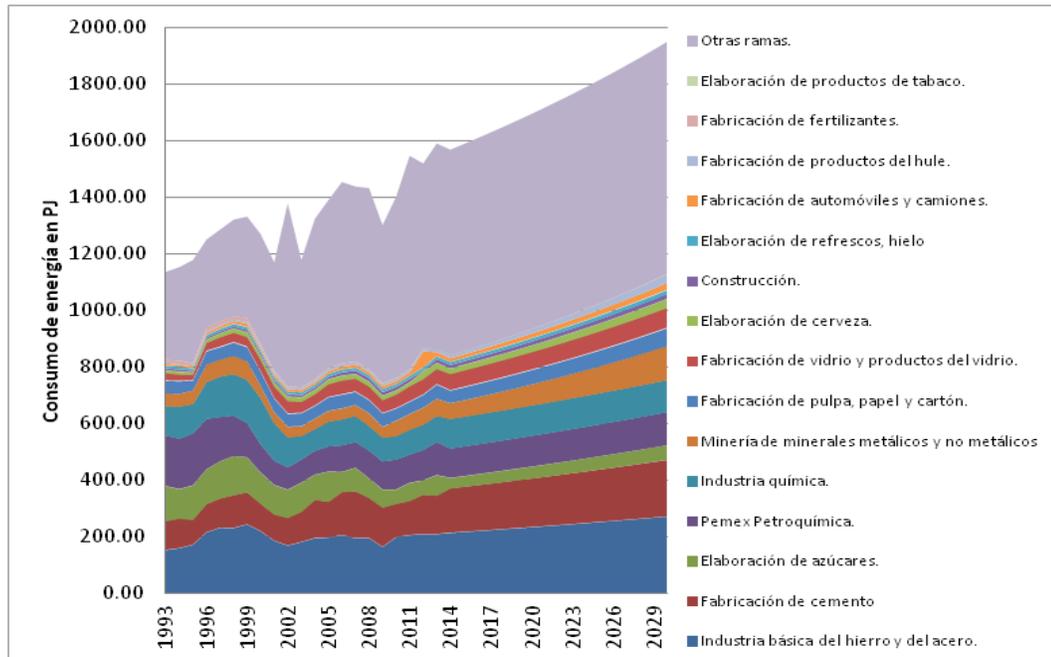


Figura 6.5: Consumo de energía en el sector industrial por rama. Fuente: Elaboración propia

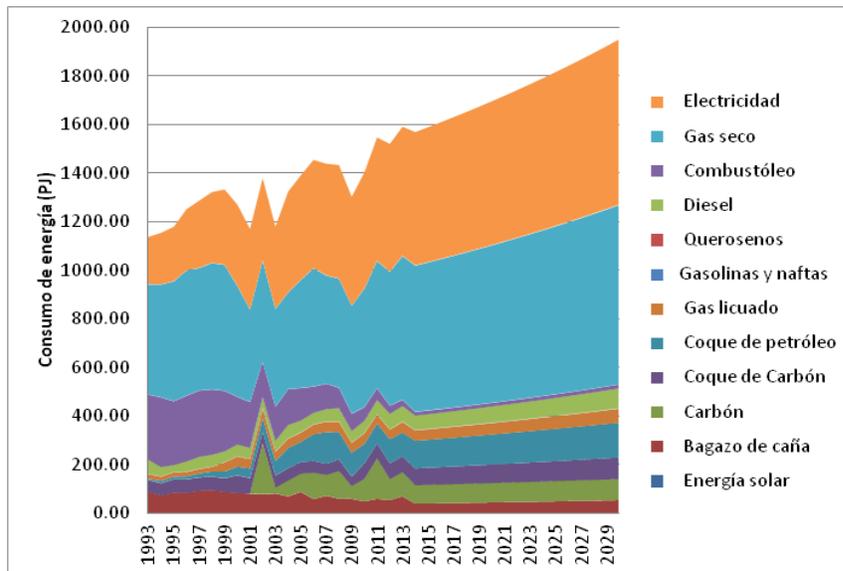


Figura 6.6: Distribución del consumo de energía en el sector industrial por energético. Fuente: elaboración propia.

Debido a la complejidad de este sector, sólo se presentan los cambios en el parámetro de la intensidad energética para cada una de las ramas analizadas en los últimos 10 años y posteriormente se establece el comportamiento esperado en los principales energéticos.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Para construir el escenario base, se tomaron los datos de los Balances Nacionales de Energía en México publicados por la SENER desde el año 1993 hasta 2014. Posteriormente se obtuvo el Producto Interno Bruto Real a precios constantes de 2003 o, en su defecto, el valor agregado o volumen de producción y se determinó la intensidad energética. Para estimar el consumo de combustibles de 2015 a 2030 se obtuvo un indicador de estructura, es decir, en este caso la distribución porcentual de cada combustible en 2014 y se mantuvo, al igual que la intensidad energética, constante hasta 2030.

En este sector las ramas que tienen el consumo energético mayor en el periodo de análisis son la industria básica del hierro y del acero, y la fabricación de cemento. En la tabla 6.3 se presentan los cambios en intensidad energética en el periodo de 2004 a 2014 como tasa incremento porcentual y el valor que se mantuvo constante para cada rama.

**Tabla 6.3: Cambios observados en la intensidad energética en las diversas ramas industriales y valor observado en 2014. Fuente: Elaboración propia.**

| Rama industrial   | Cambio en intensidad energética de 2004 a 2014 | Valor de intensidad energética en 2014 |
|---|--|--|
| Industria básica del hierro y del acero.  | -0.125%  | 2336.2 KJ/pesos 2003                   |
| Fabricación de cemento y productos a base de cemento en plantas integradas                          | -0.55%   | 3.67 GJ/Tonelada                       |
| Elaboración de azúcares.  | -9.66%   | 6.3 GJ/Tonelada                        |
| Pemex Petroquímica.   | +1.77%   | 16.1 GJ/Tonelada                       |
| Industria química.  | +2.83%   | 737.7 KJ/pesos 2003                    |
| Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas.                               | -0.99%   | 529.1 KJ/pesos 2003                    |
| Fabricación de pulpa, papel y cartón.   | -2.43%   | 1146.3 KJ/pesos 2003                   |
| Fabricación de vidrio y productos del vidrio.   | +3.7%  | 4396.4 KJ/pesos 2003                   |
| Elaboración de cerveza.   | -1.16%   | 2160.5 KJ/pesos2003                    |
| Construcción.   | +1.77%   | 19.2 KJ/pesos 2003                     |
| Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas no alcohólicas, purificación y embotellado de agua. | -1.91%   | 216.5 KJ/pesos 2003                    |
| Fabricación de automóviles y camiones.  | -1.32%   | 32.2 KJ/pesos 2003                     |
| Fabricación de productos del hule.  | -3.81%   | 117.3 KJ/pesos 2003                    |
| Fabricación de fertilizantes.   | -14.6%   | 0.7 GJ/Tonelada                        |
| Elaboración de productos de tabaco.   | +3.1%  | 289 KJ/Cajetilla                       |
| Otras ramas.  | +1.64%   | 932.8 KJ/pesos 2003                    |

Las ramas que consumen más energía han experimentado una reducción en la intensidad energética producto de la implementación de diversas medidas para reducirlo o atenuar el

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

incremento, tal es el caso de la industria cementera, de hierro y acero y la industria química. Ejemplos, son las siguientes:

- En la industria de hierro y acero:
  - Fundición directa mediante la fundición de precisión y fundición de tiras.
  - Reducción de fundición, que es una técnica que integra la preparación del coque con la reducción del mineral del hierro.
  - Cambio de procesos de manufactura en altos hornos a producción con hornos con arco eléctrico.
  - Cogeneración en la que se utiliza el gas generado como subproducto en los altos hornos de oxígeno básico.
- En la industria cementera:
  - El uso de combustibles alternativos, tales como residuos municipales, desperdicios industriales o biomasa para sustituir el uso de combustibles fósiles reduciendo las emisiones que, en promedio, se tienen en los hornos de producción de clínker.
  - Recuperación de calor: el calor residual en el proceso de cocción de la caliza para la generación de electricidad con turbinas de gas impulsadas por los gases de escape.
- En la industria química:
  - Introducción de sistemas de ahorro energético en sistemas motrices, tales como sistemas de velocidad ajustables, optimización de sistemas mecánicos y motores más eficientes.
  - Cambio en el uso de combustibles: en algunas industrias se ha reemplazado el uso de carbón por el de biomasa, o sistemas de alimentados por combustóleo a sistemas alimentados con gas natural.
  - Intensificación de procesos: el cambio de procesos por lote a procesos continuos, procesos de control de emisiones mejorados, mantenimiento preventivo, mejoras logísticas, quemadores y calentadores más eficientes.

El mayor consumo de este sector se presenta en la categoría de otras ramas, en las que se observa que la intensidad energética ha aumentado, lo que indica que, al igual que las ramas que presentan aumento, se requiere que se implementen medidas de eficiencia energética o se hagan más estrictas.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

De manera general, las industrias clasificadas en la categoría de mediana y grande son las que más implementan medidas de eficiencia energética, ya que eso les trae beneficios como una buena imagen ante sus consumidores y la sociedad en general, además de la reducción en sus costos de producción. Sin embargo, las pequeñas industrias son las que pueden verse más afectadas por las crisis económicas y son las que menos implementan medidas de ahorro de energía, pues representan un gran costo de inversión que la mayoría no puede solventar.

La prospectiva del sector eléctrico considera un crecimiento de 5% en la demanda de este energético considerando ahorros derivados del PRONASE. En este sentido debe resaltarse que se han implementado NOM's enfocadas a este sector para ahorrar electricidad, tales como las de eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales, motores y luminarias; esto trae como consecuencia una disminución en la intensidad energética.

Se espera un crecimiento en el uso del coque de petróleo principalmente impulsado por la industria cementera. Este crecimiento, según la prospectiva del gas LP, será de 3.3% anual; también se espera que el consumo de combustóleo siga disminuyendo debido a su reemplazo por combustibles más eficientes en términos ambientales como el gas LP, es por ello que su tasa de crecimiento anual se espera sea de -6.5%. Se estima también que el carbón a partir de 2015 consolidará su importancia en el sector durante casi todo el periodo de estudio teniendo una tasa de crecimiento anual de su demanda de 5.8% anual.

### 6.4. SECTOR TRANSPORTE

Este sector está dividido en varias categorías, mismas que se presentan junto con los combustibles que utilizan en la figura 6.7. De ellas la más importante en el uso de la energía es el autotransporte.



Figura 6.7: División de consumo de energía realizada en México para el sector transporte. Fuente: (SENER, 2013).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Para estimar el consumo de energía se emplearon dos métodos:

- Tendencia por estadísticas del balance nacional de energía de la SENER.
- Modelo de abajo hacia arriba en la categoría de autotransporte con el conocimiento de todo el parque vehicular en México, basado en el trabajo realizado por **(Solís-Ávila, 2013)**.

El análisis completo se pudo realizar con el primer método y es por ello que sólo se presentan los resultados obtenidos con éste para el consumo de combustibles en la figura 6.8. Las gasolinas, el diésel y los querosenos son los energéticos más importantes en este sector.

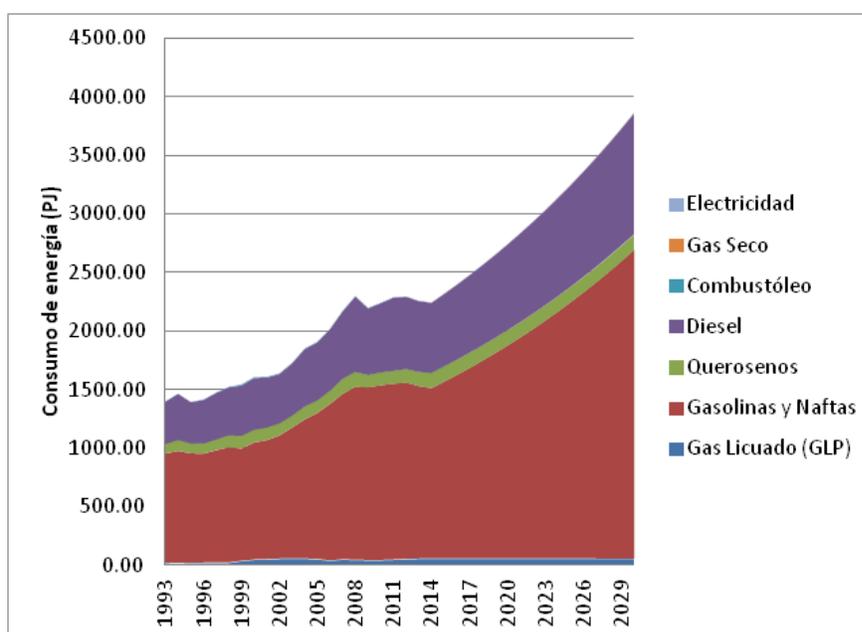


Figura 6.8: Distribución del consumo de energía en el sector transporte por energético. Fuente: elaboración propia.

El combustible más utilizado es la gasolina que en el año 2014 representó el 65% del consumo de energía, seguido por el diésel con 26.6%.

Para analizar este sector fue necesario emplear el parámetro de rendimiento de combustible, que está relacionado de manera más estrecha a la productividad energética (inverso de la intensidad energética). Para ello fue necesario utilizar los datos del análisis de abajo hacia arriba empleado para el sector autotransporte privado de pasajeros por Solís Avila (Solís-Ávila, 2013). Este sector es el que más consume energía en México, es muy complejo como se observa en la figura 6.7, ya que existen muchas categorías, por lo que se decidió elegir al autotransporte privado de pasajeros como el que puede ser

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

representativo de la situación de este sector porque es la categoría con mayor número de elementos, en su conjunto representa la que consume más energía y es para la que se ha emitido la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 (SEMARNAT, 2016a) que se refiere a las emisiones de dióxido de carbono y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible para vehículos automotores nuevos de peso vehicular de hasta 3,857Kg.

El rendimiento de combustible para todo el parque vehicular de autotransporte privado de pasajeros se presenta en la figura 6.9. La productividad energética ha presentado una tendencia a incrementarse en el periodo de 1993 a 2010 debido, muy probablemente, a la penetración tecnológica de autos compactos más eficientes con el paso del tiempo. Sin embargo, se observa un descenso a partir del año 2005, lo que puede indicar el envejecimiento del parque vehicular actual, lo que ocasiona un descenso en el rendimiento del combustible. En el año 2010 el rendimiento de vehículos ligeros en Estados Unidos fue de 9.9 Km/L (USDOT, 2016) mientras que en México, se estima, fue de 12.56Km/L. En el año 2014 el automóvil menos eficiente comercializado en la Unión Europea tenía un rendimiento de 14.06Km/L (ICCT, 2016); de acuerdo a la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 se exigía un rendimiento de 15.89Km/L como mínimo para ese mismo año. De acuerdo a los ajustes que se planea hacer a esta norma, se espera llegar a un rendimiento de 21Km/L en el año 2025, la meta de Estados Unidos es de 23.16Km/L y en la Unión Europea de 26Km/L. Esto muestra los esfuerzos que se realizarán para llegar a las metas y, que sin duda, disminuirán el consumo de combustibles en el sector transporte.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

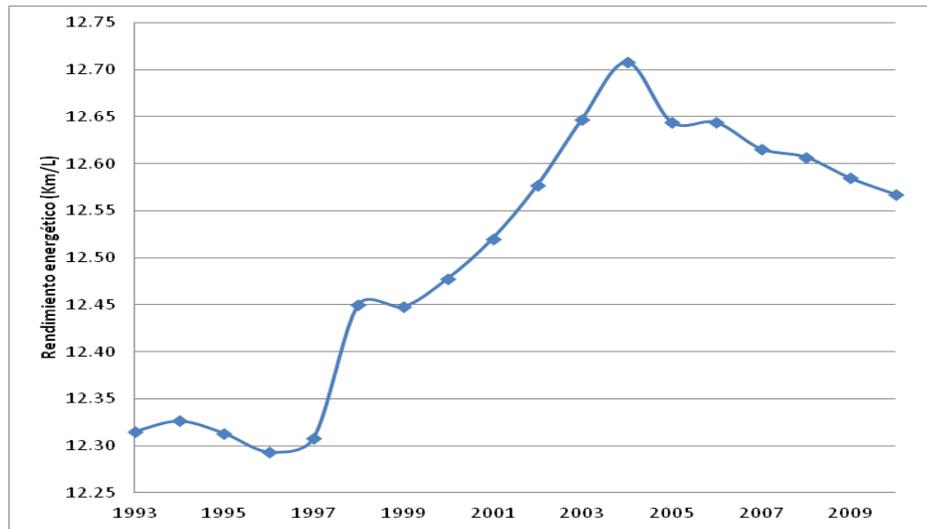


Figura 6.9: Rendimiento de combustible en la categoría de autotransporte privado de pasajeros del sector transporte mexicano. Fuente: Elaboración propia con datos de (Solís-Ávila, 2013).

### 6.5. ENERGÉTICOS UTILIZADOS EN EL SECTOR PÚBLICO

Este sector sólo utiliza electricidad, las estimaciones del consumo final se presentan en la figura 6.10. Los usos finales fueron establecidos en el capítulo cuatro.

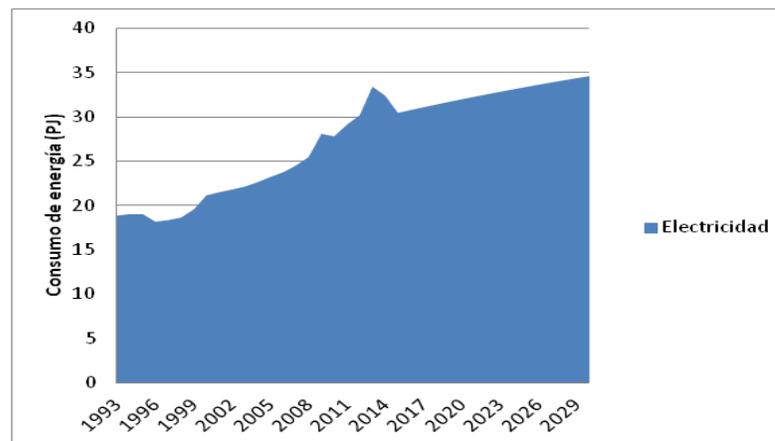


Figura 6.10: Consumo de electricidad en el sector público. Fuente: Elaboración propia.

En este sector se presenta una tendencia a la alza en la intensidad energética (figura 6.11) debido a que se ha incrementado el número de sistemas de alumbrado público y bombeo de agua potable en todo el país con el objetivo de proporcionar mayor comodidad y seguridad en las unidades habitacionales, calles y avenidas. Sin embargo, también se han implementado NOM's de eficiencia energética que han atenuado el aumento en la

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

intensidad energética, e incluso la han disminuido como se observa en el periodo 2013-2014. Estas normas se refieren a sistemas de alumbrado en vialidades y luminarias en general.

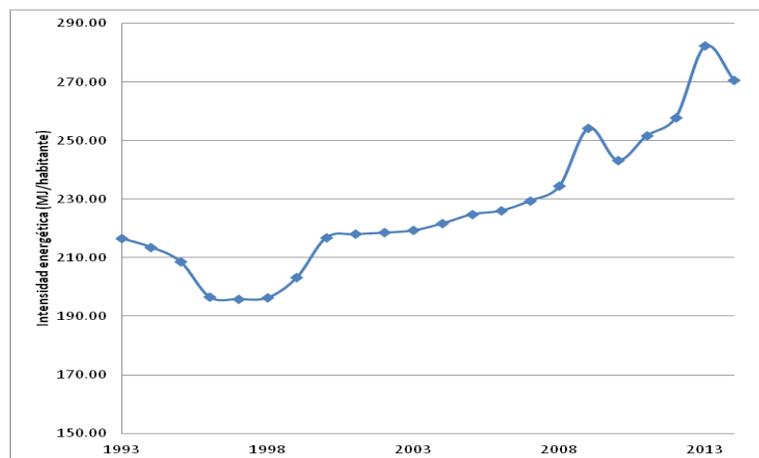


Figura 6.11: Intensidad energética en el sector público mexicano. Fuente: Elaboración propia.

### 6.6. CONSUMO PROPIO DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO

Este consumo es definido como la energía primaria y secundaria que el sector energético utiliza para el funcionamiento de sus instalaciones; en el caso del sector eléctrico se incluyen los autoconsumos en generación, transmisión y distribución.

En este análisis es importante resaltar que el único energético perteneciente a la clasificación de la energía primaria es el gas natural no asociado. Hasta ahora el gas seco se ha considerado como Gas Natural, pero desde 2002 se ha establecido una diferencia entre los dos que es importante resaltar:

- Gas Natural: Es una mezcla de hidrocarburos parafínicos con el metano como su principal constituyente. También contiene pequeñas cantidades de etano y propano, así como proporciones variables de gases no orgánicos, nitrógeno, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico. El gas natural puede encontrarse asociado con el petróleo crudo en pozos o puede encontrarse solo (gas natural no asociado). El gas natural es enviado a plantas de gas en donde se obtienen gas seco, gas licuado, nafta y etano. Forma parte de la energía primaria.
- Gas seco: hidrocarburo gaseoso obtenido como subproducto del gas natural en refinerías y en plantas de gas después de extraer los licuables. Se compone de

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

metano y pequeñas cantidades de etano. Incluye gas residual y gas seco de refinerías. Este es parte de la energía secundaria.

El gas natural no asociado se utiliza para inyectarlo a los pozos petroleros como parte de dos procesos o tipos:

- Gas de bombeo neumático: Gas que se inyecta a la través de válvulas especiales para disminuir la columna hidráulica de la tubería en un pozo de producción.
- Gas de inyección: Gas (nitrógeno, bióxido de carbono, gas seco) que se inyecta al yacimiento para mantener la presión, utilizado como sistema de recuperación secundaria. Este es el que se contabiliza dentro de las recirculaciones, pues se recupera.

No existe combustión dentro de ninguno de los dos procesos anteriores y esto se toma en cuenta en la estimación de emisiones GEI.

Sin embargo, en el proceso de extracción de petróleo y gas natural si existe la combustión controlada de gas natural, que se lleva a cabo en un mechero, de manera segura y se realiza para el gas natural que no puede ser utilizado por razones técnicas o comerciales.

En la tabla 6.4 se presentan los usos finales de los energéticos en este sector y en la figura 6.12 la distribución del consumo de energía por energético. El gas natural seco y el gas natural no asociado son los más importantes, además del diésel, la electricidad y el combustóleo.

**Tabla 6.4: Usos finales de los energéticos en el consumo propio del sector energético mexicano. Fuente: Elaboración propia**

| Combustible             | Usos finales  |
|-------------------------|---|
| Gas Natural no asociado | Gas para bombeo neumático   |
| Gas Natural seco        | Funcionamiento de calderas y equipos para generar calor. Diversos motores de combustión interna, especialmente para cogeneración. |
| Coque de Carbón         | Para generar calor a altas temperaturas en hornos industriales.   |
| Gas LP                  | Funcionamiento de calderas y equipos para generar calor. Diversos motores de combustión interna.                                  |
| Gasolina                | Motores de combustión interna de encendido por chispa.  |
| Querosina               | Combustible para maquinaria pesada.   |
| Diésel                  | Motores de combustión interna de encendido por compresión.  |
| Combustóleo             | Uso en calderas, hornos y quemadores para generar calor. Motores de maquinaria pesada.  |

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

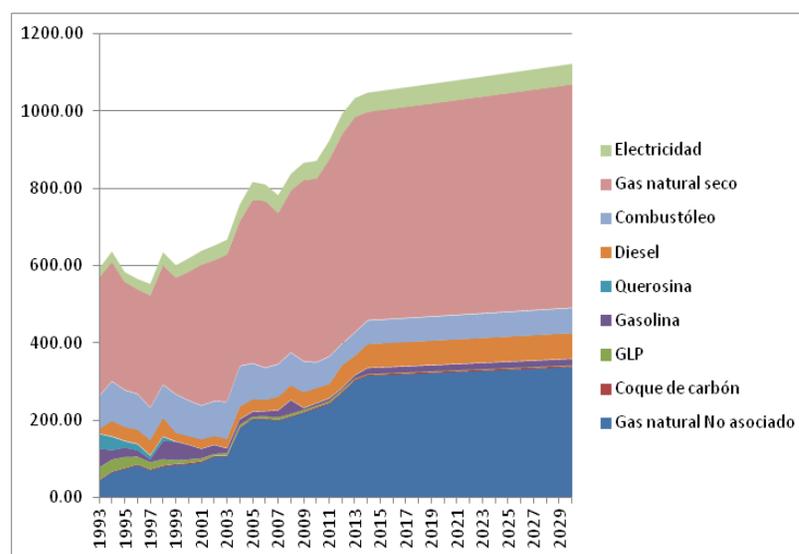


Figura 6.12: Distribución del consumo de energía clasificado como consumo propio en el sector energético mexicano por energético. Fuente: elaboración propia.

Este sector ha presentado una disminución global en su intensidad energética (Figura 6.13), producto de las medidas de reducción de consumo de energía en la industria petrolera y eléctrica que son las que principalmente lo integran. Una de esas medidas es, entre otras, la reducción en el consumo de gas natural no asociado, ya que PEMEX está inyectando dióxido de carbono en los pozos petroleros para el bombeo neumático en lugar de gas natural no asociado; otra es la implementación de una norma de eficiencia energética enfocada a los transformadores de distribución de electricidad con el objetivo de reducir las pérdidas. Sin embargo, se ha observado un aumento desde el año 2010 que muestra que se requiere incrementar las medidas para reducir el consumo de energía.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

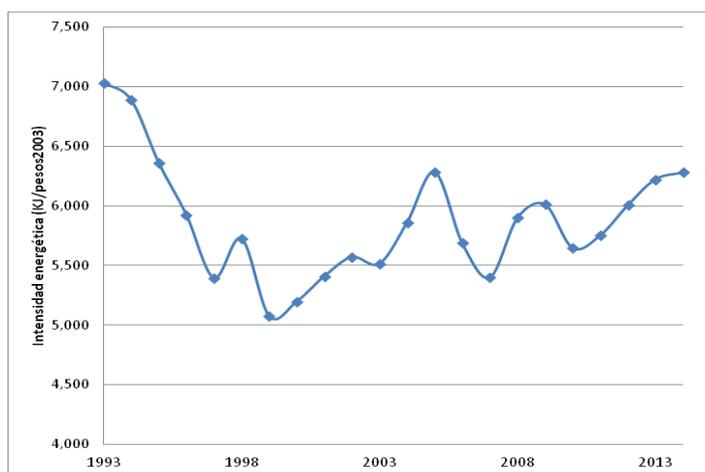


Figura 6.13: Intensidad energética en el sector consumo propio. Fuente: Elaboración propia.

### 6.7. INTENSIDAD ENERGÉTICA DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO

Una vez analizados todos los sectores, puede compararse los resultados de intensidad energética de otros países con los de México para visualizar su situación con respecto a otras economías (Tabla 6.5). México tiene una intensidad energética menor al promedio

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

mundial, al de la OCDE, China e India, lo que refleja su tendencia a realizar un uso más eficiente de la energía. Sin embargo, es mayor a la de la Unión Europea y Japón; los esfuerzos han dado resultado, pero aún puede mejorarse.

**Tabla 6.5: Evolución de la Intensidad energética de México en comparación con otros países. Los valores están dados en unidades de Kilogramos de petróleo equivalente por dólar a precios constantes de 2005. Fuente: (ENERDATA, 2016)**

| País           | Año  |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|
|                | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Mundo          | 0.2  | 0.2  | 0.19 | 0.19 |
| OCDE           | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Unión Europea  | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 |
| España         | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.11 |
| Finlandia      | 0.22 | 0.21 | 0.2  | 0.2  |
| Francia        | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.13 |
| Reino Unido    | 0.11 | 0.1  | 0.1  | 0.1  |
| Alemania       | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| Estados Unidos | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.17 |
| Latino América | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| México         | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.14 |
| China          | 0.32 | 0.3  | 0.28 | 0.28 |
| Japón          | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.12 |
| India          | 0.21 | 0.2  | 0.2  | 0.2  |

### 7. ESCENARIOS OBTENIDOS

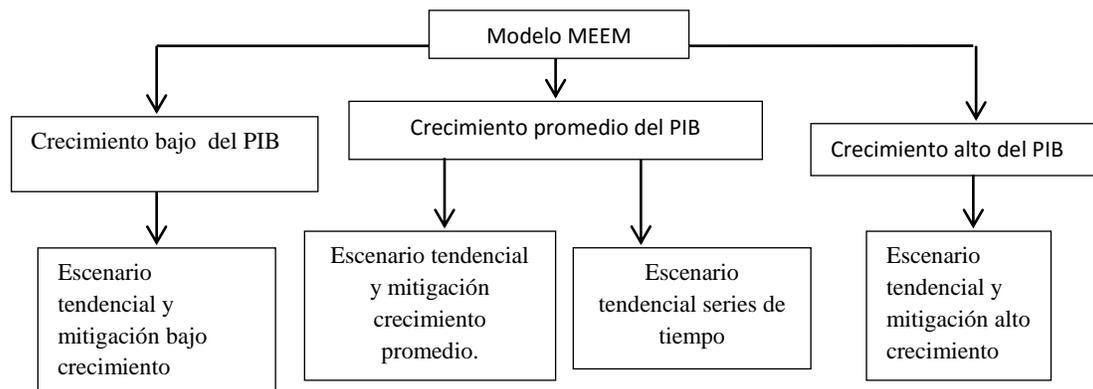
Los escenarios son como líneas de una historia para predecir el futuro dentro de un rango de tiempo. Los investigadores están de acuerdo en que los eventos futuros relacionados con el desarrollo tecnológico o crecimiento económico, no pueden ser predichos de

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

manera exacta. Estos están usualmente relacionados con un grado de incertidumbre debido a los eventos que no se pueden predecir o que son tomados como puntos de referencia que deciden el camino de crecimiento para los futuros escenarios técnico-económicos. Sin embargo, las principales posibilidades son usualmente conocidas y deben ser incorporadas en cualquier planeación futura.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos con los modelos utilizados, primero de los escenarios de energía y posteriormente de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) correspondientes al sector energético mexicano. Se hace un análisis con base en comportamiento en el futuro hasta el año 2030 utilizando comparaciones con las estadísticas y documentos oficiales para explicar los cambios esperados en el consumo de combustibles.

El alcance de esta investigación ha sido cubrir las posibilidades de crecimiento económico tomando como base el Producto Interno Bruto (PIB). En la figura 7.1 ilustran los escenarios que fueron construidos y que se presentarán más adelante.



**Figura 7.1: Escenarios construidos de acuerdo al crecimiento económico de México utilizando el MEEM. Fuente: Elaboración propia.**

Antes de presentar los escenarios obtenidos es importante destacar que al comparar el consumo de energía total obtenido con el balance nacional de energía, hay que diferenciar entre el consumo de energía nacional, el consumo final total y el consumo energético. El consumo nacional está integrado por el consumo del sector energético, el consumo final total, recirculaciones y diferencia estadística. El consumo del sector energético a su vez está integrado por el consumo por transformación, consumo propio y las pérdidas por distribución. El consumo final total está integrado por el consumo no energético y por el consumo energético. En esta investigación los resultados se refieren al

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

consumo energético que es el que está integrado por los sectores residencial, agropecuario, comercial, industrial, transporte y público; además se incluye el consumo propio como único aspecto del consumo del sector energético. Es por ello que no se puede hablar que se contabilizó el consumo de energía nacional de México. Por ejemplo, en el año 2014 el consumo nacional de energía fue de 8,624.26PJ de acuerdo al Balance Nacional de Energía y el consumo energético de 4,895.79PJ. En esta investigación para el mismo año se contabilizó un consumo de energía 5943.62PJ, un valor intermedio entre los dos.

Además se obtuvieron los resultados de consumo de cada energético, se compararon con las publicaciones oficiales, tales como las prospectivas de los combustibles para el periodo 2012-2026 (Electricidad, gas LP y gas natural) y así, se determinó si existían desviaciones significativas entre las estimaciones presentadas en ellas y las obtenidas en la presente investigación. Después de las comparaciones se encontraron diferencias de hasta 13.8% en el año 2030 en el consumo final de gas LP en el sector residencial. Las razones de tales diferencias son las consideraciones tomadas y la que más influye es el crecimiento del PIB. Las Prospectivas, generalmente presentan disminuciones en el consumo de energéticos debido a factores medidas de eficiencia energética mediante estrategias y políticas gubernamentales. Sin embargo, las disminuciones en el consumo de energía que se consideraron fueron exclusivamente las de las medidas de mitigación. Las NOM's de eficiencia energética han sido un factor muy importante para la reducción del consumo de energía en todos los sectores analizados. Estas se presentan en el Anexo 4.

### **7.1. ESCENARIO BASE**

El escenario base que se presenta a continuación considerando el consumo de energía y la dinámica económica proporciona una referencia para comparar los impactos de futuras políticas. Este escenario está basado en un entendimiento de cómo es la dinámica del sector energético en México, específicamente cómo ha evolucionado en el pasado así como en un análisis de la situación actual y la trayectoria más probable en el futuro. Incorpora los cambios en las tasas de crecimiento económico (PIB) y patrones de crecimiento, cambios en los patrones de consumo, tasas de progreso tecnológico referentes a la mejora en la eficiencia energética de los electrodomésticos para el sector

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

residencial ocasionadas por la implementación de NOM's de eficiencia energética, saturación de equipos de energía eléctrica y térmica en el sector residencial, inicio y progreso de cambios institucionales e intervenciones de política que han afectado al sector energético. Las principales consideraciones y parámetros de este caso han sido ya definidas en los capítulos anteriores.

### 7.1.1. ESCENARIOS DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Para 2030 se espera un mayor crecimiento del consumo energético del sector transporte, seguido por el sector industrial y residencial, que también son los sectores que más consumen energía. El consumo de energía para 2030 se estima que será de 8,400 PJ. La evolución del consumo de energía para todos los sectores a lo largo del periodo de análisis se presenta en la figura 7.2. La evolución del consumo en cada uno se analizó en los dos capítulos anteriores tomando como base a la intensidad energética.

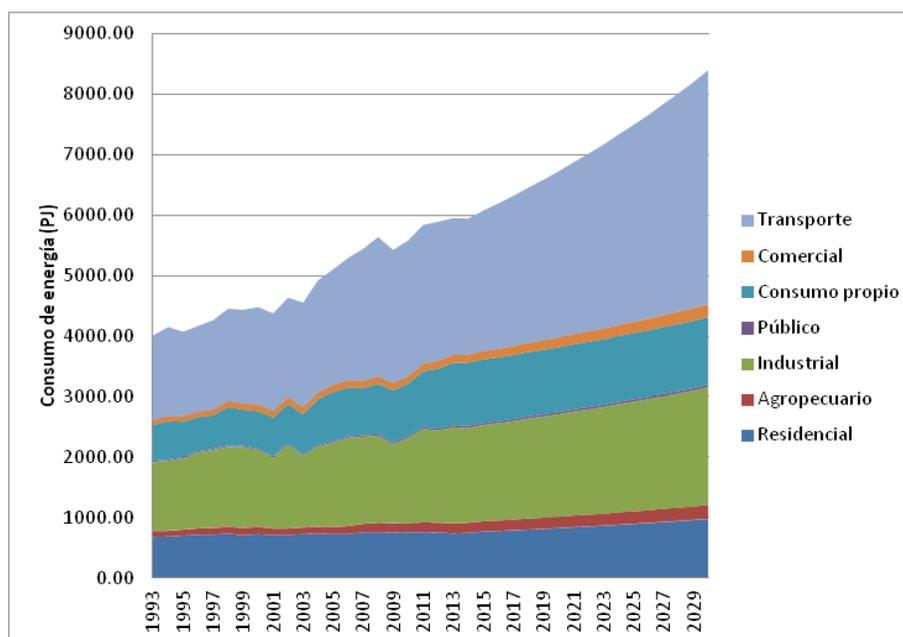


Figura 7.2: Evolución del consumo energético por sector en el periodo de estudio 1993-2030. Fuente: Elaboración propia.

Es importante saber cómo se distribuirá el consumo final estimado por combustible, ya que de eso dependerá la cantidad de emisiones GEI que se generen (Figura 7.3).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

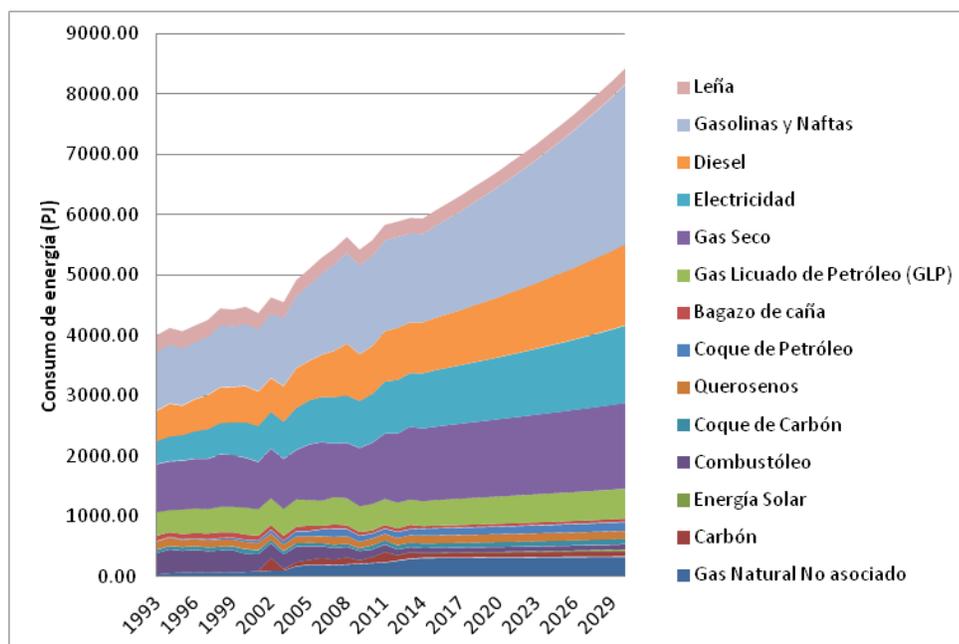


Figura 7.3: Evolución del consumo de energía por combustible en México. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, el combustible que más se utilizará serán las gasolinas y naftas que corresponden principalmente al sector transporte, seguido del gas seco y el gas natural no asociado (utilizado para el consumo propio del sector energético); cabe mencionar que aunque el gas natural es el combustible con el factor de emisión de GEI menor, no deja de ser un combustible fósil que genera GEI. Es importante también resaltar que se espera que el diésel se siga utilizando en una proporción importante junto con la electricidad. En la generación de esta última existe una oportunidad muy importante para reducir las emisiones de GEI, pues puede generarse con fuentes renovables de energía (solar y biogás) como las que se proponen en el escenario de mitigación.

### 7.1.1.1. ESCENARIO DE ENERGÍA Y CRECIMIENTO DEL PIB

Como puede observarse en la figura 7.4, el crecimiento del PIB si tiene una influencia directa en el consumo de energía, pues un mayor crecimiento económico implica un mayor consumo. Se estima que para 2030 en un escenario de crecimiento de PIB promedio se consumirán 8,395 PJ de energía, en el de bajo crecimiento económico 8,199 PJ y en el de alto crecimiento 8,666 PJ.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

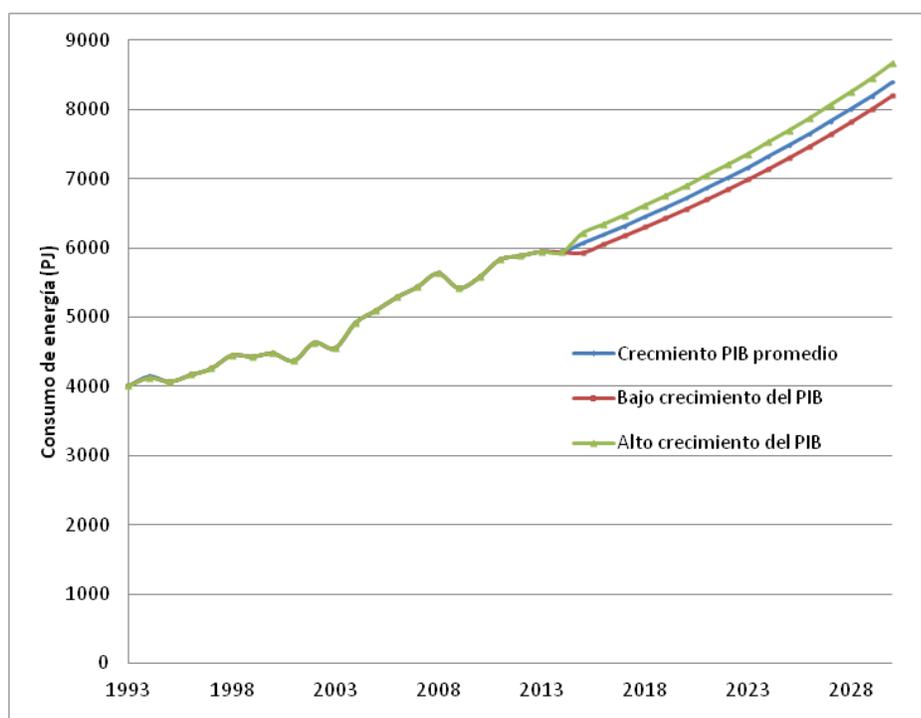


Figura 7.4: Consumo de energía en México en función del crecimiento del PIB a partir de 2015. Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.1.2. ESCENARIOS OBTENIDOS CON SERIES DE TIEMPO

Al desarrollar las series de tiempo, se observa que se tiene un consumo menor que el esperado con la construcción del escenario tendencial obtenido con el MEEM; esto es debido a que las series de tiempo consideran los movimientos característicos que tienen influencia sobre el comportamiento de la serie (figura 7.5). Estos movimientos en su conjunto proporcionan el componente de probabilidad para que se presente un resultado, independientemente de la influencia directa que tiene la tendencia. Debe aclararse que todos ellos tienen influencia, a excepción del estacional, ya que los datos son anuales. Este análisis es útil pues proporciona junto con el escenario tendencial, construido anteriormente, el intervalo de valores en los que puede presentarse el consumo de energía en el periodo 2015-2030. Los valores obtenidos con las series de tiempo están dados con un intervalo de confianza de 95% según el modelo VAR, que fue el que se utilizó para su obtención. Puede decirse que es muy probable que el valor del consumo de energía en 2030 se encuentre en el intervalo de entre 7,000 y 8,395 PJ.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

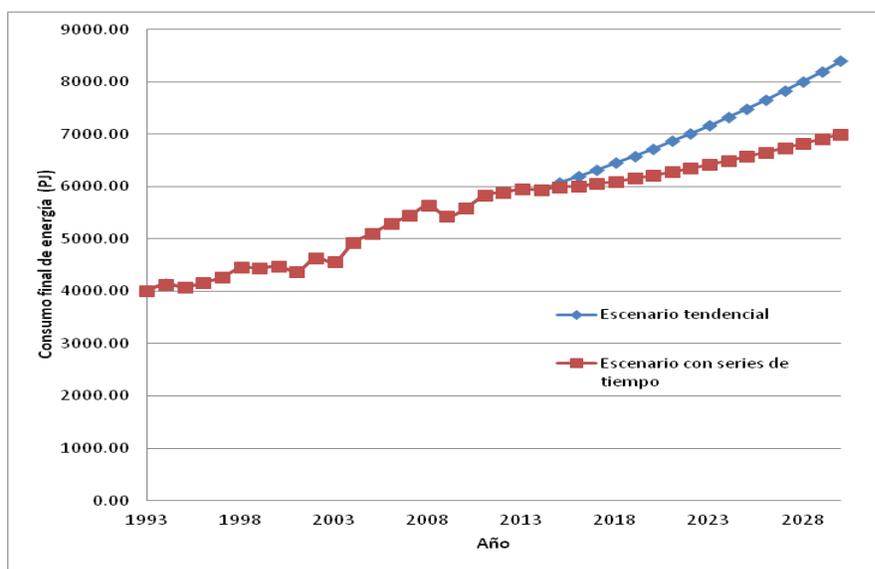


Figura 7.5: Escenarios obtenidos para el escenario tendencial siguiendo las dos metodologías.

### 7.1.2. ESCENARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los resultados de esta sección se obtuvieron a partir de la aplicación de la metodología del IPCC. Para ello fue necesario tener los consumos de cada combustible y aplicar los factores de emisión que se muestran en el anexo 1. Se utilizaron los factores de emisión estándar reportados por el IPCC en su revisión del año 2006 y no se pudieron hacer estimaciones más exactas debido a la carencia de factores de emisión reportados para México o para las tecnologías que utilizan combustibles, a excepción de los autos, en los que los factores se encuentran reportados por marca y modelo en el sitio electrónico del INECC.

Si bien es cierto que el factor de emisión de dióxido de carbono utilizado para todos los sectores es el mismo, pues sólo depende del contenido de carbono en los combustibles, existen diferencias entre los factores de metano y óxido nitroso, aplicados a cada sector; ya que ellos dependen de la tecnología de uso, y ésta es diferente. Los factores de emisión aplicados a la biomasa en todas sus formas consideran que es neutra en emisiones de dióxido de carbono, ya que el carbono que se libera durante su combustión proviene de la fijación del carbono atmosférico durante su vida; sin embargo, los factores de emisión de metano y óxido nitroso son diferentes de cero por la misma razón de que su emisión depende de la tecnología de uso.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Con el propósito de hacer las equivalencias de metano y óxido nitroso a dióxido de carbono se hace necesario elegir un horizonte de tiempo para determinar el potencial de calentamiento a utilizar, este fue elegido de 100 años, ya que la mayoría de las investigaciones revisadas fueron realizadas bajo esta consideración. De esta forma fueron obtenidos los resultados presentados en esta sección en las unidades de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ).

Al comparar los escenarios obtenidos con el MEEM y series de tiempo se obtiene la figura 7.6. Como se observa, ambos proporcionan resultados similares. Esto es debido a que en el análisis con series de tiempo se obtiene un mayor consumo de electricidad en el sector residencial, público y consumo propio del sector energético en comparación con los resultados obtenidos con el MEEM. El factor de emisión eléctrico presenta valores equivalentes cercanos a 130,000 Kg de  $\text{CO}_2\text{eq}/\text{TJ}$ , el cual es mucho mayor que cualquiera de los combustibles fósiles que intervienen, pues este factor considera las ineficiencias de las transformaciones que provocan pérdidas energéticas en el proceso de generación de electricidad. Esto ocasiona que los resultados obtenidos con ambos métodos sean muy similares. Los resultados de esta investigación predicen que en el escenario tendencial se emitirán aproximadamente 630  $\text{MtCO}_2\text{eq}$  en el año 2030 debidas al consumo del sector energético, incluyendo el consumo propio.

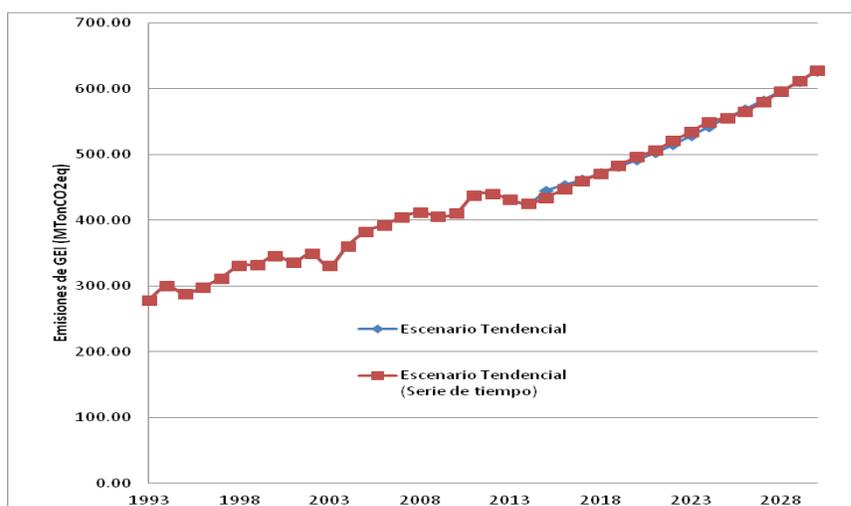


Figura 7.6: Comparación de escenarios obtenidos en la investigación con el MEEM y con series de tiempo. Fuente: Elaboración propia.

En el año 2030 el sector transporte será el que tendrá la mayor contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero con 273.6  $\text{MtCO}_2\text{eq}$  que representa el 43.6%, seguido por el sector industrial con 172.5  $\text{MtCO}_2\text{eq}$  (27.5%), el residencial 67.6  $\text{MtCO}_2\text{eq}$

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

(10.7%), el consumo propio del sector energético 70 MtCO<sub>2</sub>eq (11%), el agropecuario 19.87 MtCO<sub>2</sub>eq (3.2%), el comercial 18.8 MtCO<sub>2</sub>eq (3%) y el público 4.81 MtCO<sub>2</sub>eq (1%). Esto se presenta en la figura 7.7.

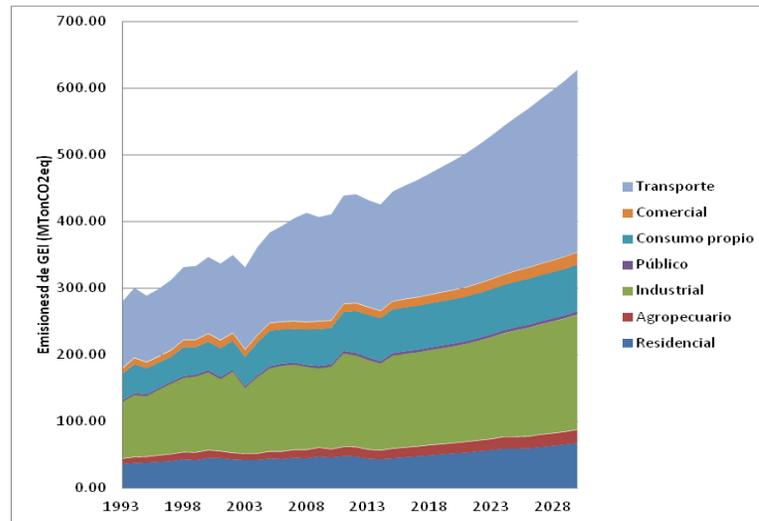


Figura 7.7: Distribución de las emisiones de GEI en el escenario tendencial. Fuente: Elaboración propia.

El crecimiento económico tendrá influencia en las emisiones de gases de efecto invernadero, pues en el escenario de bajo crecimiento se pronostica para el año 2030 un total de 611 MtCO<sub>2</sub>eq, y puede llegar hasta 655 MtCO<sub>2</sub>eq en el escenario de alto crecimiento económico. Estos cambios se presentan en la figura 7.8.

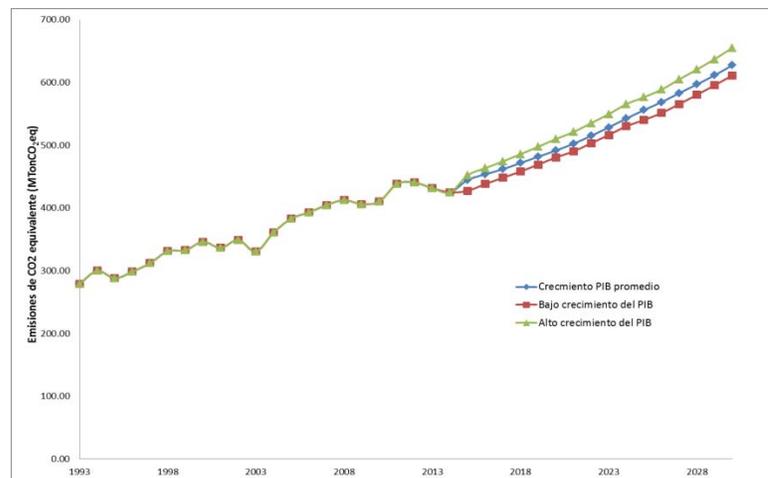


Figura 7.8: Emisiones de GEI en función del crecimiento del PIB. Fuente: Elaboración propia.

## 7.2. ESCENARIO DE MITIGACIÓN

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

No todas las medidas de mitigación propuestas se enfocan al ahorro de energía (por ejemplo, la instalación de granjas solares está destinada a generar electricidad con energía solar para satisfacer una demanda dada que podría satisfacerse utilizando centrales de diésel, y esto no implica un ahorro de energía); sin embargo, el propósito de las medidas de mitigación es reducir la emisión de gases de efecto invernadero. La estimación estas reducciones mediante las medidas de mitigación propuestas se muestran en la tabla 7.1, misma que podría alcanzar hasta 24.55 MtCO<sub>2</sub>eq considerando el crecimiento promedio del PIB.

**Tabla 7.1: Emisiones de dióxido de carbono equivalente evitadas por la implementación de las medidas de mitigación propuestas en millones de toneladas. Fuente: Elaboración propia.**

| Medida de mitigación   | RESUMEN EMISIONES EVITADAS (MtonCO <sub>2</sub> eq) |             |              |              |
|------------------------|---|-------------|--------------|--------------|
|                        | 2015  | 2020        | 2025         | 2030         |
| Iluminación            | 0.90  | 1.05        | 2.55         | 2.97         |
| Refrigeradores         | 0.20  | 0.66        | 2.21         | 3.42         |
| Lavadoras              | 0.04  | 0.33        | 1.00         | 1.64         |
| Aire Acondicionado     | 0.08  | 0.78        | 2.39         | 4.11         |
| Televisiones           | 0.06  | 0.70        | 2.06         | 3.56         |
| Calentadores de agua   | 0.03  | 0.47        | 1.45         | 3.72         |
| Sistemas Fotovoltaicos | 0.67  | 0.92        | 1.40         | 2.04         |
| Vehículos Híbridos     | 0.03  | 0.21        | 0.44         | 0.82         |
| Vehículos Eléctricos   | 0.06  | 0.39        | 0.80         | 1.48         |
| Granjas Solares        | 0.05  | 0.11        | 0.22         | 0.33         |
| Rellenos Sanitarios    | 0.03  | 0.05        | 0.11         | 0.14         |
| Plantas de Tratamiento | 0.01  | 0.02        | 0.04         | 0.06         |
| Co-procesamiento       | 0.04  | 0.09        | 0.17         | 0.26         |
| <b>Total</b>           | <b>2.22</b>   | <b>5.78</b> | <b>14.85</b> | <b>24.55</b> |

Tomando en cuenta el crecimiento económico las medidas de mitigación propuestas pueden traer reducciones desde 19.7 MtCO<sub>2</sub>eq, en el escenario de bajo crecimiento de PIB, hasta 32.3 MtCO<sub>2</sub>eq, en el escenario de alto crecimiento del PIB (Tabla 7.2). Las emisiones sólo se consideran durante la fase de operación de las tecnologías, a pesar de que existen emisiones a lo largo de su ciclo de vida.

Como se observa, las emisiones se mantienen constantes para las medidas de mitigación que no dependen del crecimiento del PIB. En las otras medidas se considera que un

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

mayor crecimiento del PIB traerá como consecuencia mayores emisiones evitadas porque se realizan mayores inversiones y se cuenta con mayor número de equipos de mitigación. Las medidas aplicadas al sector residencial son las que ocasionan la mayor reducción de emisiones con 21.46 MtCO<sub>2</sub>eq en el escenario de PIB promedio, que representa el 87.4% de la cantidad total por las medidas de mitigación propuestas. No obstante, el restante 3.09 MtCO<sub>2</sub>eq es equivalente a más de la mitad de las emisiones que se esperan en el sector público en el año 2030.

**Tabla 7.2: Reducción de emisiones de GEI por las medidas de mitigación propuestas en el año 2030.**  
Fuente: Elaboración propia.

| Medida de mitigación                                | Reducción de emisiones (MTonCO <sub>2</sub> eq) |              |          |
|---|---|--------------|----------|
|   | PIB Bajo  | PIB Promedio | PIB Alto |
| Iluminación residencial                             | 2.97  | 2.97         | 2.97     |
| Refrigeradores en el sector residencial             | 3.42  | 3.42         | 3.42     |
| Lavadoras de ropa residenciales                     | 1.64  | 1.64         | 1.64     |
| Aire acondicionado residencial                      | 4.11  | 4.11         | 4.11     |
| Televisiones sector residencial                     | 3.56  | 3.56         | 3.56     |
| Calentadores de agua residenciales                  | 0.84  | 3.72         | 8.66     |
| Sistemas fotovoltaicos residenciales                | 1.43  | 2.04         | 2.87     |
| Vehículos Híbridos                                  | 0.41  | 0.82         | 1.23     |
| Vehículos Eléctricos                                | 0.74  | 1.48         | 2.22     |
| Granjas Solares                                     | 0.22  | 0.33         | 0.78     |
| Aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios    | 0.08  | 0.14         | 0.44     |
| Aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento | 0.03  | 0.06         | 0.15     |
| Co-procesamiento de neumáticos en cementeras        | 0.26  | 0.26         | 0.26     |
| Total   | 19.72   | 24.55        | 32.32    |

Cuando se juntan el escenario de mitigación y el tendencial se obtiene la figura 7.9 en la que se observa una reducción gradual de la emisión de GEI relativamente pequeña, pero que representará un 4% de reducción de las emisiones GEI estimadas en 2030. En 1993 se contabilizaron 279 MtCO<sub>2</sub>eq; se estima que han crecido y continuarán creciendo a una tasa de crecimiento promedio anual de 2.2% durante el periodo 1993-2014.

Las NOM's de eficiencia energética lograron reducir el consumo de electricidad en el sector residencial (Figura 5.4), y es evidente que si se aplican las medidas de mitigación propuestas se logrará prácticamente estabilizar su consumo, aun considerando el efecto rebote. El efecto se ve directamente reflejado en las emisiones, pues para la electricidad en el escenario tendencial de este sector se generarían en el año 2030 un total de 36.72

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq (MtCO<sub>2</sub>eq), mientras que en el de mitigación propuesto, un total de 20.93 MtCO<sub>2</sub>eq; si se considera un bajo efecto de rebote se generarían un total de 22.29 MtCO<sub>2</sub>eq y con alto efecto de rebote 23.78 MtCO<sub>2</sub>eq. Esto significa las emisiones de GEI por el uso de la electricidad en el sector residencial pasarían de 20.57 en 2013 a 20.93 MtCO<sub>2</sub>eq en el escenario de mitigación propuesto, con lo que pueden evitarse desde 12.9 hasta 15.8 MtCO<sub>2</sub>eq (Figura 7.10).

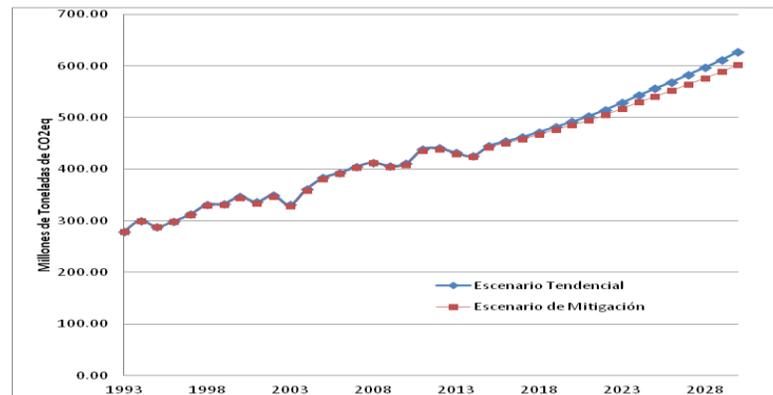


Figura 7.9: Escenarios de emisiones GEI obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

Sin duda, reducir las emisiones es lo más deseable que se espera suceda en todos los sectores y en el consumo de energía de todo el país. Sin embargo, la magnitud de esta reducción es lo realmente importante, ya que alcanzar una meta dada de reducción depende de ello.

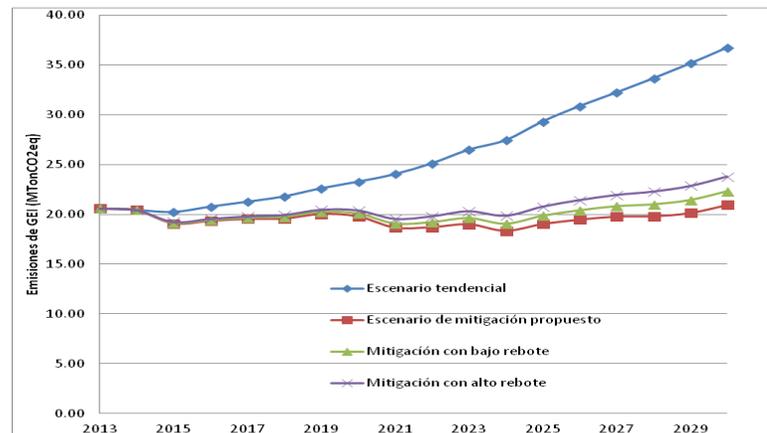


Figura 7.10: Escenarios de emisiones de GEI en el sector residencial mexicano por uso de electricidad para el periodo de 2013 a 2030. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3. EMISIONES DE GEI DE MÉXICO EN EL CONTEXTO MUNDIAL

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Para comparar los resultados obtenidos de emisión de GEI a nivel mundial se debe recordar que existen otros aspectos que deben tomarse en cuenta para cuantificar la cantidad de GEI emitidas; por ello, se hacen dos observaciones para diferenciar a las emisiones ocasionadas por el sector energético y las emisiones nacionales:

- Emisiones del sector energético: hasta el año 2012 eran publicadas por la SENER mediante el balance nacional de energía. Además de los consumos de combustibles y el consumo propio, cuantificados en esta investigación, tomaba en cuenta las emisiones fugitivas que consisten en: emisiones en producción, exportación de petróleo, transformación y procesamiento, venteo de gas, almacenamiento de petróleo y fugas en el consumo de gas. Para 2012 en esta investigación se cuantificaron 440.37 MtCO<sub>2</sub>eq, mientras que en el balance nacional de energía un total de 490.42 MtCO<sub>2</sub>eq.
- En el año 2013 el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático en conjunto con la SEMARNAT y otras instituciones publicaron el Inventario Nacional de Emisiones GEI para el año 1990-2010. En él se estiman las emisiones nacionales y, aparte de los tres gases de efecto invernadero tomados en cuenta, también se cuantifican a los hidrofluorocarbonos (HFC's), perfluorocarbonos (PFC's) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Se estiman también emisiones por la agricultura que incluyen a la fermentación entérica y el manejo de estiércol; procesos que generan a nivel industrial los HFC's, PFC's y SF<sub>6</sub>; emisiones fugitivas que incluyen a las minas de carbón. Es por ello que existen grandes diferencias entre la estimación realizada y la publicada por esa fuente. De acuerdo a esa publicación, en el año 2010 se emitieron 748.25 MtCO<sub>2</sub>eq(INECC, 2015), mientras que en ese mismo se cuantificaron 410.6 MtCO<sub>2</sub>eq en esta investigación. Existe una diferencia de 337.6 MtCO<sub>2</sub>eq, misma que si se mantiene constante a 2030, daría un total de 967.6 MtCO<sub>2</sub>eq en emisión de GEI en todo el país; valor cercano a las 1000 MtCO<sub>2</sub>eq que se reportan como las emisiones de la línea base del PECC.

Las diferencias anteriores se deben a las diferentes metodologías mediante las que se realizan las estimaciones.

Cuando se comparan las emisiones de GEI debidas al uso de la energía con otros países se observan los resultados de la tabla 7.3. Es importante notar que México se encuentra entre los mayores emisores de GEI a nivel mundial, pues en 2013 ocupó el lugar 13. A

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

nivel de emisión per cápita se emiten 3.7 toneladas, valor por debajo de muchos países desarrollados, pero por encima de Brasil, lo que representa un área de oportunidad para reducir emisiones GEI.

**Tabla 7.3: Generación de GEI a nivel mundial por uso de energía en el año 2013. Fuente:(PBL, 2015).**

| PAÍS                             | EMISIONES DE GEI (Mt CO <sub>2</sub> eq) | Emisiones per cápita (Ton/hab) |
|----------------------------------|--|--------------------------------|
| Mundial                          | 35,669                                   | 5                              |
| China                            | 10,540                                   | 7.6                            |
| Estados Unidos                   | 5,334                                    | 16.5                           |
| Unión Europea                    | 3,415                                    | 6.7                            |
| India                            | 2,341                                    | 1.8                            |
| Rusia                            | 1,766                                    | 12.4                           |
| Japón                            | 1,278                                    | 10.1                           |
| Alemania                         | 767                                      | 9.3                            |
| Envíos internacionales marítimos | 624                                      | —                              |
| Irán                             | 618                                      | 7.9                            |
| Corea del Sur                    | 610                                      | 12.3                           |
| Canadá                           | 565                                      | 15.9                           |
| Brasil                           | 501                                      | 2.5                            |
| Arabia Saudita                   | 494                                      | 16.8                           |
| Aviación Internacional           | 492                                      | —                              |
| México                           | 456                                      | 3.7                            |
| Indonesia                        | 452                                      | 1.8                            |
| Reino Unido                      | 415                                      | 6.5                            |
| Australia                        | 409                                      | 17.3                           |

### 7.4. EVALUACIÓN DE COSTOS DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Los resultados de la evaluación de costos proporcionan una idea general del costo relativo al que pueden evitarse las emisiones de GEI, es decir, si los beneficios económicos serán mayores a los costos dado por el signo negativo del resultado, o viceversa, dado por el signo positivo. Sin embargo, para obtener un valor con exactitud es necesario realizar la evaluación económica de acuerdo a los precios de todos los insumos considerados y tecnologías en el mercado a precios corrientes, pues estos varían en el tiempo.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

Los resultados se presentan para el escenario de crecimiento promedio del PIB en la tabla 7.4. El beneficio económico está dado por la diferencia entre la inversión anualizada de la tecnología en escenario de mitigación y la tecnología en el escenario tendencial (numerador de la ecuación 14). La inversión es el valor presente de la inversión que debe realizarse en el escenario de mitigación. Se establece también a quienes son los actores que deben invertir para implementar estas medidas de mitigación, pues es un factor muy importante para asegurar su éxito. Para este escenario se requiere una inversión total de 1.7 billones de pesos a precios de 2015.

**Tabla 7.4: Resumen de la evaluación de costos para el escenario de crecimiento promedio del PIB. Fuente: Elaboración propia.**

| <b>MEDIDA</b>  | <b>COSTOS POR TONELADA EVITADA (USD/TonCO<sub>2</sub>eq)</b> | <b>MITIGACIÓN TOTAL (MTonCO<sub>2</sub>eq/año)</b> | <b>BENEFICIO ECONÓMICO (MMXN)</b> | <b>INVERSION (MMXN)</b> | <b>¿QUIÉN INVIERTE?</b>    |
|--|--|--|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Luminarias residenciales   | -79.28   | 2.97   | -3,531                            | 87,284                  | Consumidores finales       |
| Granjas Solares  | -63.26   | 0.33   | -313                              | 3,902                   | Capital privado            |
| Uso del biogás en rellenos sanitarios                            | -57.27   | 0.14   | -137                              | 1,600                   | Gobierno o Capital privado |
| Sistemas fotovoltaicos residenciales                             | -50.46   | 2.04   | -1,541                            | 61,420                  | Consumidores finales       |
| Calentadores de agua residenciales                               | -36.56   | 3.72   | -2,041                            | 31,157                  | Consumidores finales       |
| Aire acondicionado residencial                                   | -14.33   | 4.11   | -883                              | 148,944                 | Consumidores finales       |
| Vehículos Híbridos   | -11.68   | 0.82   | -144                              | 94,795                  | Consumidores finales       |
| Co-procesamiento industrial de neumáticos                        | -6.08  | 0.26   | -28                               | 900                     | Capital privado            |
| Lavadoras de ropa residenciales                                  | 146.91   | 1.64   | 3,615                             | 189,504                 | Consumidores finales       |
| Refrigeradores residenciales                                     | 219.22   | 3.42   | 11,244                            | 383,365                 | Consumidores finales       |
| Televisiones residenciales                                       | 231.02   | 3.56   | 12,344                            | 581,276                 | Consumidores finales       |
| Uso del biogás en las plantas de tratamiento de aguas residuales | 255.23   | 0.06   | 253                               | 2,654                   | Gobierno                   |
| Vehículos Eléctricos   | 323.66   | 1.48   | 7,198                             | 139,356                 | Consumidores finales       |
| <b>TOTAL</b>   |  | <b>24.55</b>                                       |                                   | <b>1,726,157</b>        |                            |

La medida de mitigación que menor costo representa es la correspondiente a las luminarias residenciales debido al bajo costo de inversión. Este costo generalmente será cubierto por los usuarios finales, pero también puede ser el gobierno federal mediante el programa de ILUMEX o el Programa Nacional de Sustitución de lámparas Incandescentes

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

por Fluorescentes Compactas Autobalastadas en Localidades de hasta 100,000 Habitantes o similares.

La instalación de granjas solares representa otra oportunidad de bajo costo cuando se considera que la electricidad generada se vende a CFE a un precio de 0.77\$/KWh, precio relativamente bajo y que puede hacer muy factibles este tipo de proyectos en los lugares de muy alta insolación. Sin embargo, si existen incentivos fiscales su factibilidad puede incrementarse de manera muy significativa.

El uso de biogás en los rellenos sanitarios para generación eléctrica representa una gran oportunidad y además se brinda solución a la disposición de los residuos sólidos urbanos; el problema es que su factibilidad para generación eléctrica es solo para instalaciones cuya capacidad de procesamiento sea de más de 50 toneladas diarias, ya que el costo de las micro turbinas se incrementa a menor capacidad de generación eléctrica. Un aspecto muy importante es asegurar la continua producción de biogás en el relleno sanitario mediante una planificación del sitio de disposición de los residuos que considere expansión, como es el caso del relleno sanitario de Monterrey, el cual es clave para su éxito. En este aspecto existen casos como el del Bordo Poniente en la Ciudad de México, en el que sólo se quema el biogás generado, pues no se sabe con certeza durante cuánto tiempo se mantendrá la producción de biogás para realizar la inversión en la infraestructura para generación eléctrica.

El uso de sistemas fotovoltaicos representa una oportunidad muy grande para los usuarios a los que se les factura la electricidad con la tarifa DAC, pues son ellos, generalmente del sector de elevados ingresos, los que pueden reducir significativamente el costo de la electricidad mediante esta medida. Desgraciadamente esto depende, al igual que los calentadores solares, de disponer del espacio adecuado para su instalación, es decir, superficies libres expuestas al sol como es el techo de las viviendas.

Los calentadores de agua para uso residencial se harán más rentables conforme se incrementen los costos del gas LP; la desventaja es que necesitan un sistema de respaldo a partir de éste para satisfacer la demanda cuando no hay suficiente insolación, lo que no asegura un balance de emisiones GEI neutro en las viviendas por calentamiento de agua.

La sustitución de equipos de aire acondicionado se hace muy factible económicamente debido a que son equipos muy intensivos en el uso de electricidad.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

El uso de vehículos híbridos no es factible, excepto para la población de altos ingresos debido a su elevado costo de inversión; sin embargo, si existieran planes de financiamiento que pudieran competir con el monto de la mensualidad de un auto convencional de bajo costo. Actualmente estos autos están considerados debido a sus características técnicas y precio dentro de la categoría de autos de lujo. El sector transporte representa la mayor emisión de gases GEI, pero debido a la baja penetración tecnológica que se espera de estos autos, no se lograrán reducciones significativas debido a su uso.

El co-procesamiento industrial de neumáticos en las cementeras es factible económicamente, pero depende de que exista un sistema eficiente sistema de recolección de éstos. Estas industrias pueden utilizar además otro tipo de combustibles alternos, con lo cual se da una disposición segura a los residuos que se incineran sin generación de gases tóxicos debido a las altas temperaturas que se alcanzan dentro de los hornos de clínker. Su implementación en todas las cementeras depende de varios factores, pero es principalmente el económico el que juega el papel más importante.

Tanto las lavadoras de ropa como los refrigeradores en el sector residencial tienen costos elevados debido a que la evaluación se llevó a cabo con la tecnología más eficiente existente en el año 2015, que resultaron ser las más caras. Sin embargo, se espera que los costos de los equipos más eficientes descendan con el paso del tiempo debido al fenómeno conocido como aprendizaje tecnológico, que es un incentivo que promueve el cambio a tecnologías más eficientes y juega un papel muy importante en la reducción de costos mejorando las tecnologías mediante la competencia y continua sustitución entre ellas en el mercado de bienes; es decir, el costo unitario de las tecnologías es una función de la capacidad acumulativa de conocimiento. Como resultado de ello se estima que se observarán balances de costos negativos de mitigación en el futuro.

Los televisores resultan muy elevados en costo y las reducciones que proporcionan en el consumo unitario es muy pequeña debido a que actualmente sólo está disponible en el mercado la tecnología LED, que son equipos considerados de bajo consumo; sin embargo, es el electrodoméstico que más saturación presenta en el sector residencial, por lo que debido a ello su utilización puede propiciar una reducción significativa de emisiones de gases GEI.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

El uso de biogás en las plantas de tratamiento de aguas residuales resulta muy elevado en costo, pues se requiere instalar una infraestructura especializada para que sea posible; y que en muchos casos no se realiza debido a su alto costo. Las plantas de tratamiento de aguas residuales más comunes son de pequeña capacidad y no incluyen un tratamiento anaerobio para los lodos del tratamiento biológico.

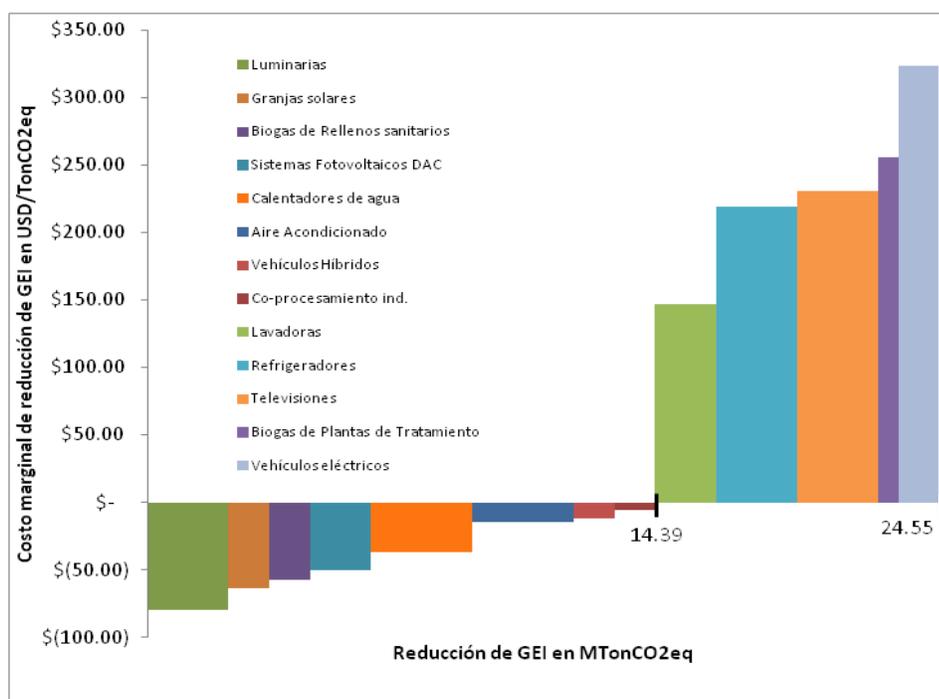
El uso de vehículos eléctricos resultó tener el costo más elevado debido a que su costo de inversión así lo es. Además tiene algunas desventajas, entre las que se incluyen: sólo es posible su uso en la ciudad porque su autonomía llega a 160Km por carga, no existen suficientes centros de carga debido a su baja demanda y su carga en las residencias de manera rápida depende de tener una instalación en media tensión de 220 Volts.

Cada una de las medidas de mitigación tiene un distinto potencial de abatimiento, mismo que se muestra en la figura 7.11. Las medidas de mitigación más importantes en reducción de emisiones GEI son las propuestas para el sector residencial, por el gran número de electrodomésticos existentes: equipos de aire acondicionado, uso de calentadores solares de agua, televisores, refrigeradores, la sustitución de luminarias, sistemas fotovoltaicos y lavadoras de ropa. Sólo de estas medidas lograrán el abatimiento de 21.46MTonCO<sub>2</sub>eq, que corresponde al 87.4% del abatimiento total de GEI propuesto.

Con las medidas cuyos beneficios son mayores a los costos de inversión puede llegar a abatirse hasta 14.39 MTonCO<sub>2</sub>eq, que representa el 59% del abatimiento total con las medidas de mitigación propuestas.

El sector residencial representa la mayor oportunidad de abatimiento de carbono de acuerdo a las medidas de mitigación propuestas en esta investigación debido a las tecnologías que pueden implementarse tan solo por el hecho de tener que reemplazar los electrodomésticos al término de su vida útil. La implementación de las otras medidas de mitigación ha sido muy lenta y a baja escala, por lo que no se propuso una penetración mayor de estas tecnologías.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030



**Figura 7.11: Curva de costos de abatimiento de carbono en el escenario de crecimiento promedio del PIB.**  
 Fuente: Elaboración propia.

Cuando se evalúan las medidas de mitigación en los escenarios de bajo y alto crecimiento del PIB se observa que los costos de abatimiento de los electrodomésticos del sector residencial se mantienen constantes debido a que su implementación se considera que no depende directamente del crecimiento económico; sucede lo mismo con los autos eléctricos e híbridos debido a que, tanto en los autos del escenario de mitigación como los del escenario tendencial, satisfacen la necesidad de la misma forma y dependen sólo de los costos de la gasolina y la electricidad que fueron considerados constantes a lo largo del tiempo.

El incremento o disminución de inversiones en los escenarios de alto o bajo crecimiento económico de las otras tecnologías provoca que ocurra lo mismo en los costos de abatimiento cuando se tiene un costo negativo; es decir, que si se incrementa la inversión por un alto crecimiento del PIB, el costo de abatimiento de carbono va a aumentar debido a que los costos de inversión son más elevados. Lo contrario ocurre cuando el costo de abatimiento es positivo como es el caso de la medida de uso de biogás en las plantas de tratamiento de aguas residuales, pues los beneficios son mayores en abatimiento de carbono a mayor inversión. La variación de los costos en los tres escenarios es debida a

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

que las tecnologías evaluadas en los escenarios de mitigación y tendencial son muy diferentes en parámetros de operación y eficiencias.

Se requiere una inversión de 1.57 billones de pesos a precios de 2015 para el escenario de bajo crecimiento del PIB y 1.9 billones para el escenario de alto crecimiento del PIB. El abatimiento de carbono con las medidas de mitigación propuestas puede ir desde 19.7MtonCO<sub>2</sub>eq en el escenario de bajo crecimiento económico, hasta 32.4 MtonCO<sub>2</sub>eq en el escenario de alto crecimiento. Este monto promedio anual corresponde a entre 4.5% y 5.5% de la inversión total de México en 2011. Los costos obtenidos en los tres escenarios evaluados para las medidas de mitigación se presentan en la tabla 7.5.

**Tabla 7.5: Comparación de los costos de abatimiento en los tres escenarios de crecimiento del PIB.**  
Fuente: Elaboración propia.

| MEDIDA   | COSTOS POR TONELADA EVITADA (USD/TonCO <sub>2</sub> eq) |        |        |
|--|---|--------|--------|
|  | BAJO  | MEDIO  | ALTO   |
| Luminarias residenciales   | -79.28  | -79.28 | -79.28 |
| Granjas Solares  | -76.38  | -63.26 | -45.81 |
| Uso del biogás en rellenos sanitarios                            | -63.66  | -57.27 | -40.40 |
| Sistemas fotovoltaicos residenciales                             | -61.71  | -50.46 | -30.79 |
| Calentadores de agua residenciales                               | -58.17  | -36.56 | -25.69 |
| Aire acondicionado residencial                                   | -14.33  | -14.33 | -14.33 |
| Vehículos Híbridos   | -11.68  | -11.68 | -11.68 |
| Co-procesamiento industrial de neumáticos                        | -6.08   | -6.08  | -6.08  |
| Lavadoras de ropa residenciales                                  | 146.91  | 146.91 | 146.91 |
| Refrigeradores residenciales                                     | 219.22  | 219.22 | 219.22 |
| Televisiones residenciales                                       | 231.02  | 231.02 | 231.02 |
| Uso del biogás en las plantas de tratamiento de aguas residuales | 288.58  | 255.23 | 249.37 |
| Vehículos Eléctricos   | 323.66  | 323.66 | 323.66 |

La Organización de las Naciones Unidas tiene unas metas de desarrollo sustentable que deben considerarse en la elaboración de cualquier política que busque cumplir con la referente a combatir el cambio climático y los impactos asociados a éste, como es el caso de esta investigación. Otra de esas metas, que está relacionada, es la que se refiere a garantizar el acceso a la energía accesible, segura, sostenible y moderna para todos (aspecto en el que se puede contribuir con la instalación de sistemas fotovoltaicos y calentadores solares de agua en comunidades rurales). La implementación de las medidas de mitigación propuestas requerirá que se realicen inversiones que implican un

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

gasto para las familias mexicanas en el caso de los electrodomésticos, y el que puedan realizarse depende de que se cumpla el primer objetivo que se plantea en esas metas que es la reducción de la pobreza.

En México los hogares más pobres enfrentan fuertes presiones asociadas al costo de la vida, principalmente por la satisfacción de las necesidades básicas como la alimentación. Según estudios recientes el número absoluto de pobres por carencia alimentaria se ha reducido en promedio a una tasa de -0.5% anual, entre 1998 y 2012, pasando de 36.4 millones de personas a 34 millones, gracias a programas gubernamentales como PROGRESA y Oportunidades (Foncerrada Pascal, et al., 2016). Esto implica que aproximadamente 8.7 millones de viviendas particulares habitadas viven en esa condición. Debido a ello, la reducción de emisiones GEI puede verse disminuida, ya que se partió de la consideración de que los electrodomésticos serán sustituidos en todas las viviendas de México, independientemente de los niveles socioeconómicos de las familias que las habitan. Se estima que, debido a la pobreza, el abatimiento de carbono puede verse reducido en 4.5 MtCO<sub>2</sub>eq, con lo que pasaría a ser de aproximadamente sólo 20 MtCO<sub>2</sub>eq con las medidas de mitigación propuestas en el escenario de crecimiento promedio del PIB.

Las medidas de mitigación referentes a calentadores solares de agua y sistemas fotovoltaicos para el sector residencial, el uso de autos híbridos y eléctricos se propone que sea para las familias de elevados ingresos económicos, por lo que su implementación no se vería afectada por la pobreza. Lo que se requiere en este sentido es realizar campañas de concientización para que este estrato de la población las utilice y derribar las barreras de mitigación que impiden su uso.

Las medidas de mitigación que requieren de capital privado pueden implementarse de manera efectiva, pues representan grandes oportunidades de negocio.

La operación de rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales depende de los gobiernos municipales, por lo que la implementación de las medidas referentes a ellas requiere de políticas gubernamentales que las fomenten.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

## 7.5. BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN

El proponer las medidas de mitigación no es garantía para que se realicen, muchas veces su implementación se ve obstaculizada por las barreras a distintos niveles que la impiden.

Estas pueden clasificarse en:

- **Políticas:** Se refiere a las acciones que mediante la legislación y las instituciones se toman para fomentar la eficiencia energética en forma de coordinación, negociación, esquemas regulatorios e incentivos.
- **Financieras:** Se refieren a aspectos económicos como, por ejemplo, las inversiones elevadas o los subsidios.
- **Tecnológicas:** Se refieren a madurez de las tecnologías, carencia de infraestructura, etc.
- **Sociales.** Se refiere a la resistencia y conflictos de grupos sociales, adopción de las tecnologías, etc.

Las barreras encontradas se presentan en las tablas 7.6, 7.7, 7.8 y 7.9 para cada sector, así como las recomendaciones de acción.

**Tabla 7.6: Barreras encontradas en la implementación de las medidas de mitigación en el sector residencial. Fuente: Elaboración propia.**

| Tipo de Barrera | Descripción  | Acciones correctivas  |
|-----------------|--|---|
| Políticas       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las normas de eficiencia energética no se actualizan o revisan después de periodos constantes de tiempo.</li> <li>• No existen normas de eficiencia energética para todos los electrodomésticos utilizados.</li> <li>• Se ha impedido que tecnologías ineficientes se sigan usando mediante instrumentos regulatorios como las normas, por ejemplo, en el caso de las luminarias incandescentes; no obstante, se siguen vendiendo en el mercado negro.</li> <li>• Carencia de un programa adecuado de disposición final de electrodomésticos al término de su vida útil, lo que puede ocasionar que sean reparados y sigan funcionando.</li> <li>• Falta de incentivos fiscales que promuevan la utilización de calentadores solares y sistemas fotovoltaicos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualizar las normas de eficiencia energética cada determinado tiempo con base en un estudio de mercado.</li> <li>• Establecer normas de eficiencia energética para todos los electrodomésticos utilizados en este sector y otras que obliguen a utilizar energías renovables en nuevas edificaciones en todo el país</li> <li>• Tener un programa y una institución eficaz que vigile el cumplimiento de las disposiciones legales.</li> <li>• Tener un programa de disposición final de electrodomésticos, incluso con incentivos económicos para su correcta disposición.</li> <li>• Tener un programa de incentivos fiscales para el uso de calentadores solares y sistemas fotovoltaicos.</li> </ul> |
| Financieras     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los subsidios a la electricidad en este sector desalientan las inversiones en eficiencia energética.</li> <li>• Costos de inversión algunas veces elevados.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementar las tarifas eléctricas para quienes utilicen equipos poco eficientes.</li> <li>• Crear esquemas de financiamiento con bajas tasas de interés a quienes adquieran equipos para incrementar la eficiencia energética o que utilicen energías renovables.</li> </ul>  |

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

|              |  |   |
|--------------|--|---|
| Tecnológicas | <ul style="list-style-type: none"> <li>Las tecnologías que utilizan energía solar dependen de la disposición de este recurso y de su intermitencia.</li> <li>Debe disponerse de un sistema de respaldo para satisfacer la totalidad de la demanda en el caso de la energía solar.</li> <li>Espacios disponibles para la instalación de las tecnologías que funcionan con energía solar.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Crear sistemas de almacenamiento de energía eficientes y de bajo costo.</li> </ul>                     |
| Sociales     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimiento limitado sobre la eficiencia energética y uso de energía solar, incluyendo sus costos, beneficios y riesgos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Campañas públicas de concientización sobre eficiencia energética y uso de la energía solar.</li> </ul> |

**Tabla 7.7: Barreras encontradas en la implementación de las medidas de mitigación en el sector transporte. Fuente: Elaboración propia.**

| Tipo de Barrera | Descripción  | Acciones correctivas   |
|-----------------|--|--|
| Políticas       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de incentivos fiscales que promuevan la utilización de autos híbridos y eléctricos en todo el país.</li> <li>Falta de verificentros para medir las emisiones contaminantes del parque vehicular en todo el país.</li> <li>Corrupción en verificentros.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Promover el establecimiento de incentivos fiscales a quienes utilicen autos híbridos y eléctricos.</li> <li>Establecer verificentros en todo el país.</li> <li>Impedir la corrupción en la medición de contaminantes de los autos.</li> </ul>   |
| Financieras     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Costos de inversión muy elevados.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Crear esquemas de financiamiento con bajas tasas de interés a quienes adquieran autos eléctricos e híbridos.</li> </ul>   |
| Tecnológicas    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Las tecnologías tienen elevados costos debido a que son relativamente nuevas.</li> <li>Carencia de centros de carga ampliamente distribuidos para la utilización de vehículos eléctricos.</li> <li>Tiempos muy altos de carga para los autos eléctricos.</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Incrementar las inversiones en desarrollo tecnológico para diseñar autos eléctricos e híbridos con tecnología mexicana.</li> <li>Ampliar la red de electrolinerías o centros de carga en todo el país.</li> <li>Crear tecnologías en la que la carga de los autos eléctricos sea más rápida.</li> </ul> |
| Sociales        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimiento limitado sobre la eficiencia energética y uso de vehículos eléctricos e híbridos, incluyendo sus costos, beneficios y riesgos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Campañas públicas de concientización sobre eficiencia energética y uso de vehículos eléctricos e híbridos.</li> </ul>   |

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

**Tabla 7.8: Barreras encontradas en la implementación de las medidas de mitigación en el sector industrial. Fuente: Elaboración propia con información de (SEMARNAT, 2016b).**

| Tipo de Barrera | Descripción   | Acciones correctivas   |
|-----------------|---|--|
| Políticas       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Carencia de política integral de eficiencia energética en la industria que provea incentivos económico – fiscales.</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de un marco institucional que defina un esquema de compensación (descuentos en el precio de energéticos o condonación de impuestos), atraiga instituciones financieras para detonar el desarrollo de proyectos de reducción de GEI, otorgue certificaciones acreditando el ahorro de combustible de las empresas.</li> <li>En cuestión de residuos: aplicación de regulación para manejo de residuos, promover convenios de colaboración entre la federación y estados de la república para favorecer la separación y acopio de residuos valorizables como los neumáticos.</li> </ul> |
| Financieras     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Costos de inversión muy elevados.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Crear esquemas de financiamiento con bajas tasas de interés a las industrias que implementen medidas de eficiencia energética y utilización de energías renovables.</li> </ul>  |
| Tecnológicas    | <ul style="list-style-type: none"> <li>El co-procesamiento de neumáticos requiere de la instalación de una infraestructura adicional al proceso de producción.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionar beneficios económicos o fiscales a las cementeras que implementen el co-procesamiento como parte de su proceso productivo.</li> </ul>  |
| Sociales        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimiento limitado sobre los beneficios de la eficiencia energética en la industria.</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Campañas de concientización a nivel empresarial sobre eficiencia energética.</li> </ul>   |

**Tabla 7.9: Barreras encontradas en la implementación de las medidas de mitigación en la implementación de las medidas de mitigación para generación eléctrica. Fuente: Elaboración propia con información de (SEMARNAT, 2016b).**

| Tipo de Barrera | Descripción   | Acciones correctivas  |
|-----------------|---|---|
| Políticas       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Para la industria privada existe un tope de 30MW como capacidad máxima de generación de energía para suministrarla a la red de CFE.</li> <li>Falta de incentivos fiscales.</li> <li>Complicados trámites procesales para la obtención de permisos para generación de electricidad.</li> <li>La planeación energética busca tecnologías de menor costo marginal y no considera criterios de sustentabilidad.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer en la prospectiva sectorial de energía metas graduales específicas en el incremento de la participación de energía solar y biogás para generación eléctrica.</li> <li>Eliminar el tope de 30MW de generación de electricidad con energías renovables.</li> <li>Proporcionar incentivos fiscales a este tipo de proyectos.</li> <li>Facilitar la realización de trámites para conseguir los permisos de operación.</li> <li>Privilegiar a las energías renovables en la generación eléctrica en lugar de las tecnologías de menor costo marginal.</li> </ul> |
| Financieras     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Costos de inversión muy elevados.</li> <li>No se consideran los beneficios asociados de la utilización de fuentes renovables de energía, por lo que los costos de inversión pueden ser mayores con energías renovables que con otro tipo de fuentes.</li> <li>La utilización de biogás en las plantas de tratamiento de aguas residuales para generación</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Crear esquemas de financiamiento con bajas tasas de interés a quienes implementen utilización de energías renovables.</li> <li>Considerar los co-beneficios asociados que provoque que los costos de este tipo de tecnologías disminuyan.</li> <li>Diseñar e implementar estrategias de financiamiento que permitan acceder a los fondos de los proyectos MDL para implementar este tipo de tecnologías.</li> <li>Incluir en la ley de generación de electricidad una metodología robusta para estimar e internalizar</li> </ul>                                       |

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

|              |   |  |
|--------------|---|--|
|              | eléctrica no resulta rentable económicamente.   | de manera específica los costos ambientales derivados de la generación de energía con combustibles fósiles. <ul style="list-style-type: none"> <li>Favorecer con incentivos fiscales y de otro tipo a los municipios que implementen la generación de electricidad a partir del biogás obtenido de las plantas de tratamiento de aguas residuales.</li> </ul>  |
| Tecnológicas | <ul style="list-style-type: none"> <li>Intermitencia y bajas eficiencias de conversión en el caso de las granjas solares.</li> <li>Se requiere de proyectos de gran tamaño para asegurar una producción suficiente y rentable de biogás para generar electricidad en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar inversiones para investigación en el tema de energía solar que propicien el incremento en las eficiencias de conversión y la generación eléctrica a pequeña escala utilizando biogás.</li> <li>Favorecer a los proyectos con generación eléctrica utilizando biogás y electricidad para acceder a la red de transmisión y distribución de electricidad.</li> </ul> |
| Sociales     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimiento limitado sobre los beneficios que puede traer a los inversionistas de proyectos de granjas solares y utilización de biogás para generación eléctrica.</li> <li>Posibilidad de conflictos sociales por problemas de derechos de propiedad y pago de terrenos.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Campañas orientadas a los inversionistas potenciales de este tipo de proyectos para darles a conocer los beneficios que pueden obtener.</li> <li>Campañas de concientización orientadas a los propietarios de los terrenos donde pueden establecerse este tipo de proyectos.</li> </ul>   |

### 7.6. COMPARACIÓN CON LA ESTRATEGIA DE CAMBIO CLIMÁTICO Y OTRAS PUBLICACIONES

Una de las utilidades de esta investigación es que es complementaria a otras investigaciones realizadas y publicadas; por lo que en este apartado se comparan los resultados o propuestas de disminución de GEI en ellas con los obtenidos en el escenario de crecimiento del PIB promedio.

#### Ley General de Cambio Climático

En el año 2012 fue publicada esta ley que proporciona dos instrumentos fundamentales para orientar e instrumentar la política pública en la materia:

- Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), es un instrumento de planeación a mediano y largo plazos que rige y orienta la política nacional mediante prioridades de atención. Se propone reducir un 30% de las emisiones de GEI respecto a la línea base en 2020 (882 MtCO<sub>2</sub>eq) y 50% en 2050 en relación con las emisiones del año 2000. Se establecen acciones de mitigación con un potencial cercano a 261 MtCO<sub>2</sub>eq, pero ese año las emisiones deben reducirse 288 MtCO<sub>2</sub>eq para cumplir con la meta (Gobierno Mexicano, 2016). Las acciones

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

de mitigación relacionadas con esta investigación incluyen: eficiencia en iluminación, uso de biogás en rellenos sanitarios, aire acondicionado y refrigeración residencial, utilización de energía solar térmica y fotovoltaica; por lo que las medidas propuestas pueden proporcionar un abatimiento de carbono adicional de hasta 3 MtCO<sub>2</sub>eq en el año 2020.

- El Programa Especial de Cambio Climático establece las metas a corto plazo, es decir, para el año 2018. Se pretenden abatir para ese año un total de 83.2 MtCO<sub>2</sub>eq mediante varias acciones entre las que se encuentran las siguientes relacionadas con esta investigación: promover la eficiencia energética mediante NOM's, promover el manejo apropiado de residuos sólidos mediante la clausura a tiraderos y apoyo a construcción de rellenos sanitarios con aprovechamiento de biogás, y mitigar las emisiones de GEI con incremento de la cobertura de tratamiento de aguas residuales (SEMARNAT, 2015). Sin embargo, con las medidas de mitigación propuestas pueden reducirse hasta 2 MtCO<sub>2</sub>eq adicionales en el año 2018. Se plantea también reducir el factor de emisión eléctrico de 0.456 tCO<sub>2</sub>eq/MWh (registrado en 2013) a 0.35 tCO<sub>2</sub>eq/MWh en ese mismo año.

### Base para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones (LEDS)

Este es conocido como LEDS por sus siglas en inglés y fue un documento preparado por el INE en el que se analizan acciones de mitigación relacionadas con esta investigación como: uso de LEDs, sustitución de LFC por incandescentes y electrodomésticos eficientes en el sector residencial; uso directo del biogás de rellenos sanitarios para generación eléctrica y uso de energía solar fotovoltaica. Se planea una reducción de 261 MtCO<sub>2</sub>eq en 2020 y 523 MtCO<sub>2</sub>eq en 2030. Adicionalmente, con las medidas de mitigación propuestas, pueden abatirse hasta 2.8 MtCO<sub>2</sub>eq en 2020 y 10 MtCO<sub>2</sub>eq en 2030.

### Acciones Nacionales Apropiadas de Mitigación

Son conocidas como NAMAs, por sus siglas en inglés, y son un conjunto de acciones bajo la conducción y apoyo de la SEMARNAT, son impulsadas por el gobierno mexicano con ayuda de las instituciones internacionales; entre las que se encuentran: establecer medidas de eficiencia energética en el sector habitacional a través de la utilización de ecotecnias (pueden incluirse en este punto a los calentadores solares), aumentar la

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

eficiencia energética y reemplazar refrigerantes por aquellos con bajo potencial de calentamiento global (aplicable a electrodomésticos y refrigeradores), aumentar la eficiencia energética en lavadoras y accesorios, generación de electricidad con energía solar, y reemplazar los combustibles mediante residuos sólidos e incrementar el clínker en la mezcla en cementeras. A partir de ellas, se pretenden alcanzar mitigaciones adicionales a las establecidas en el PECC de hasta 9.42 MtCO<sub>2</sub>eq en 2030. Muchas de las medidas de mitigación propuestas pueden incluirse en esta categoría en forma de proyectos específicos de inversión. Adicionalmente, la Secretaría de Energía y el CONACyT apoyan el desarrollo de proyectos ejecutivos de NAMAs que garanticen reducciones significativas de emisiones de GEI que podrían ser evaluadas para la obtención de apoyos públicos o privados destinados a la ejecución.

### Estudio MEDEC

Con el apoyo del Banco Mundial, en el año de 2009, se publicó el estudio “México: Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono”, que consiste en un análisis a escala nacional de las opciones de bajas emisiones en México (país de América Latina que tiene el mayor nivel de consumo de combustibles fósiles) y es complemento del PECC. Sus 40 intervenciones pretenden reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en aproximadamente 477 MtCO<sub>2</sub>eq en el año 2030. Las intervenciones de este estudio que se relacionan con esta investigación son: iluminación eficiente, calentamiento solar de agua, refrigeración y aire acondicionado residencial; y utilización de biogás para generación eléctrica. Adicionalmente pueden abatirse 10.2 MtCO<sub>2</sub>eq con las medidas de mitigación propuestas.

Las medidas de mitigación propuestas proporcionan una reducción que podría parecer mínima, debe recordarse que la mayor reducción está en el sector residencial; sin embargo, la mayor emisión de GEI en 2030 se deberá al sector transporte, sector residencial y generación eléctrica (Figura 7.12), por lo que las medidas de mitigación que ocasionan mayores reducciones en las publicaciones revisadas y comparadas corresponden a estas tres áreas.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

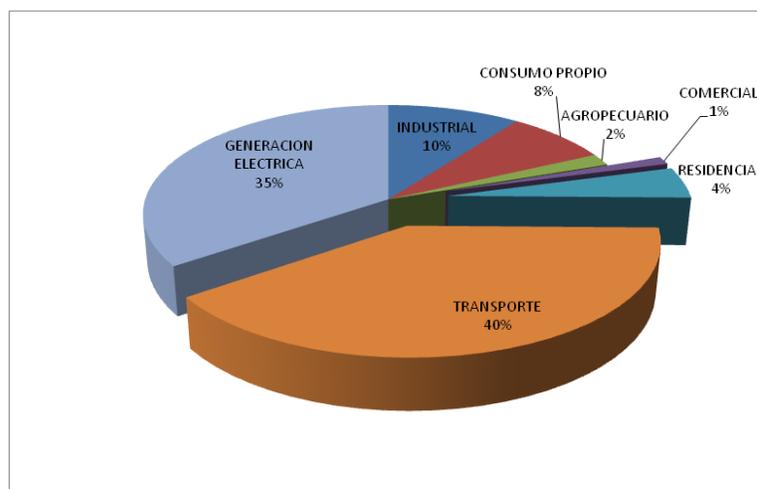


Figura 7.12: Distribución de las emisiones de GEI en el año 2030. Fuente: Elaboración propia.

### Compromisos de reducción de GEI de México en el contexto internacional

Muchas naciones han establecido las metas para reducir sus emisiones de GEI al año 2020 referidas al escenario tendencial, conocido también como línea base. Estas metas se resumen en la tabla 7.10, mismas en las que se han basado las políticas energéticas y de reducción de GEI. En el caso de México se ve muy complicado alcanzar la meta de reducción de emisiones GEI debido a que los sectores que son los principales emisores seguirán utilizando principalmente combustibles fósiles y la expansión de las energías renovables ha sido muy lenta.

Tabla 7.10: Metas de reducción de emisiones para algunos países del mundo para el año 2020. Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT, 2016b).

| País           | Reducción  | Nota                                  |
|----------------|--|---------------------------------------|
| Brasil         | 36-39% de sus emisiones con respecto a la línea base.  | Condicionado a tener apoyo financiero |
| México         | 22% con respecto a la línea base con recursos propios y hasta 58% con recursos adicionales del extranjero.             | Meta establecida para el año 2030.    |
| Corea del Sur  | 30% con respecto a la línea base en 2020.  | Con sus propios recursos              |
| China          | 40 a 45% de reducción en su intensidad de emisiones en 2020 comparado a 2005   |                                       |
| India          | 20 a 25% de reducción en su intensidad de emisiones en 2020 con respecto a 2005  |                                       |
| Unión Europea  | 20%de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (en relación con los niveles de 1990)                  |                                       |
| Estados Unidos | Reducir el dióxido de carbono que emanan sus plantas de energía en 30 por ciento con respecto a las emisiones de 2005. | Meta establecida para el año 2030     |

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

### 8.1. RESUMEN DE METODOLOGÍA

Lo primero que se realizó en esta investigación fue la colección de los datos para alimentar al MEEM, principalmente provenientes de las fuentes de información de la Secretaría de Energía (como los Balances Nacionales de Energía o el Sistema de Información Energética) y del INEGI, para el periodo de 1993 a 2014. Posteriormente se estimó el consumo de energéticos para el periodo 2015-2030 con base en las tendencias observadas, y con ellos se construyó el escenario tendencial de energía y emisiones de GEI; se plantearon las medidas que contribuirían a reducirlos y con ellas se construyó el escenario de mitigación. Una vez contruidos los dos escenarios se estimó la cantidad de GEI que podrían abatirse para el año 2030. Adicionalmente se evaluaron los costos marginales de abatimiento de dióxido de carbono para averiguar la factibilidad económica de la aplicación de las medidas de mitigación. Finalmente se establecieron comparaciones con las estrategias oficiales para mitigar los GEI, se encontraron las barreras que podrían obstaculizar su implementación y se propusieron las medidas correctivas.

### 8.2. CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis establecida, no será suficiente la reducción de GEI de 24.5MtCO<sub>2</sub>eq alcanzada por las medidas de mitigación propuestas para que nuestro país cumpla con la meta de reducción de emisiones que se ha fijado de 22% por debajo de la línea base con recursos propios; sin embargo, si contribuirán con una reducción del 4%.

#### **Con base en la investigación se estima que:**

En los escenarios de energía

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- La población mexicana pasará de 121 a 137 millones de habitantes en el periodo 2015-2030. En el mismo periodo las viviendas particulares habitadas pasarán de 32.8 a 49 millones.
- La saturación de electrodomésticos del sector residencial en México, estimada para 2030, es: 35% de LFC y 65% de LEDs en iluminación, 114% para refrigeradores, 104% lavadoras, 20% aire acondicionado y 295% televisiones. Los usos finales más importantes con electricidad serán: iluminación, acondicionamiento de aire y conservación de alimentos.
- La saturación de estufas de gas alcanzará 93% y la de calentadores de agua 56% en el sector residencial mexicano en el año 2030.
- La máxima saturación posible de equipos de aire acondicionado en México es de 27% y la de calentadores de agua 58%.
- El sector residencial consumirá 1015 PJ de energía. Los usos finales más importantes serán la cocción de alimentos, el calentamiento de agua y la iluminación. Los energéticos más utilizados serán la electricidad (37.2%), el gas LP (27.5%) y la leña (25.5%).
- Las NOM's de eficiencia energética propiciaron ahorros de 26,372 GWh de electricidad para el año 2012 en el sector residencial mexicano.
- El sector agropecuario en 2030 consumirá 226 PJ de energía y los energéticos más utilizados serán el diésel, la electricidad y el gas LP.
- El sector público en 2030 consumirá 37.2 PJ de energía exclusivamente en forma de electricidad.
- El sector comercial en 2030 consumirá 217 PJ de energía, y los energéticos más utilizados serán el gas LP, la electricidad y el gas natural.
- El sector industrial se consumirán 1,949 PJ; los energéticos más importantes utilizados serán el gas natural, la electricidad y el coque de petróleo. Las ramas industriales que más consumirán energía serán la industria siderúrgica, cemento y petroquímica de PEMEX.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- El sector transporte será el más consumidor de energía en el año 2030, pues se estima que demandará 3862 PJ de energía. La categoría más importante en el uso de la energía será el autotransporte. Los energéticos más consumidos serán gasolinas, diésel y querosenos.
- El consumo propio del sector energético demandará 1122 PJ de energía en 2030. Los energéticos más utilizados serán el gas natural seco, el gas natural no asociado y el combustóleo.
- En 2030 el consumo nacional de energía correspondiente al consumo energético y al consumo propio será de 8400 PJ aproximadamente. Los sectores que más consumirán energía serán el transporte (46%) e industrial (23.2), y el consumo propio del sector energético (13.36%). Los energéticos más utilizados serán las gasolinas y naftas (31.6%), gas natural (16.81%), diésel (16%) y electricidad (15.3%). En un escenario de bajo crecimiento del PIB el consumo de energía podría alcanzar 8200 PJ y en el de alto crecimiento del PIB 8,670 PJ.
- Ha existido una disminución en los últimos años en la intensidad energética en el uso de la electricidad en el sector residencial, sector comercial, la mayoría de las ramas del sector industrial y en el consumo propio del sector energético, hecho que refleja la influencia que han tenido las NOM's de eficiencia energética y otras políticas gubernamentales.
- Ha existido el aumento en la intensidad energética en el sector público y en el sector agropecuario en los últimos años.
- De acuerdo al análisis con series de tiempo, el consumo energético estimado puede ser de sólo 7000 PJ.
- La capacidad instalada de las centrales de generación eléctrica en 2030 alcanzará 85,000MW y las principales tecnologías de generación serán la de ciclo combinado, hidroeléctrica y nueva generación limpia. La generación máxima posible, para ese mismo año, será de 508,921 GWh. Los principales combustibles utilizados serán gas natural (60%), carbón (17%) y combustóleo (6%).

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

### En los escenarios de emisiones

- De acuerdo al consumo energético nacional, se generarán 627.25 MtCO<sub>2</sub>eq sin tomar en cuenta a las emisiones generadas por las emisiones fugitivas y las pérdidas por distribución de la electricidad. El principal sector generador de emisiones GEI será el transporte (43.6%), seguido por el industrial (27.5%) y el consumo propio del sector energético (11.15%).
- Si se considera a la generación eléctrica como una actividad generadora de emisiones GEI, junto con los sectores energéticos analizados, entonces el 40% de las emisiones serían generadas por el sector transporte, 35% por la generación eléctrica y 10% por el sector industrial.
- El factor de emisión del mix eléctrico de México pasará de 0.49 KgCO<sub>2</sub>/KWh en 2012 a 0.47 KgCO<sub>2</sub>/KWh en 2030. Una reducción poco significativa respecto a la que se plantea, pues se planea generar la mayor cantidad de electricidad con gas natural, que a pesar de tener ventajas como un muy alto poder calorífico, menor costo, menor emisión de GEI por unidad energética, no deja de ser un combustible fósil.
- De acuerdo a los escenarios de crecimiento del PIB, las emisiones de GEI pueden variar entre 611 y 655 MtonCO<sub>2</sub>eq.
- La emisión de GEI en el sector residencial para 2030 será de 36.72 MtCO<sub>2</sub>eq en el escenario tendencial.

### Las Medidas de Mitigación propuestas:

- Provocarán una disminución o abatimiento de carbono para el año 2030 de 24.55 MtCO<sub>2</sub>eq (crecimiento promedio del PIB). Esto es equivalente a 6.7 millones de autos en México.
- Considerando el crecimiento del PIB ocasionarían una reducción en emisiones de entre 19.7 y 32.4 MtCO<sub>2</sub>eq en el año 2030. Estas representan aproximadamente el 4% de las emisiones estimadas para ese mismo año.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- Requieren una inversión de entre 1.57 billones de pesos a precios de 2015 y 1.9 billones para la implementación de las medidas de mitigación, que equivale a entre 4.5% y 5.5% de la inversión total de México en 2011. Esta se plantea que provenga de los consumidores finales, capital privado e instituciones de gobierno.
- Relacionadas con el uso de la electricidad en el sector residencial ocasionarán que las emisiones de GEI se estabilicen, pues pasarían de un valor de 20.6 MtCO<sub>2</sub>eq en 2013 a 20.9 en 2030. Si se considera el efecto rebote por incremento en el consumo de energía, entonces alcanzaría hasta 23.8 MtCO<sub>2</sub>eq, lo que representa una disminución significativa de, por lo menos, 35% con respecto a la línea base. Pero en caso de no implementarse llegarían a 36.7 MtCO<sub>2</sub>eq.
- Requieren que se formulen programas para dar una adecuada disposición final a los electrodomésticos que sean sustituidos en el sector residencial.
- Que otorgan beneficios superiores a los costos al final del periodo serán la sustitución de luminarias por LFC o LEDs en el sector residencial, uso del biogás de rellenos sanitarios para generación eléctrica, sistemas fotovoltaicos en el sector residencial (considerando que se paga la tarifa eléctrica DAC), instalación de granjas solares para generación eléctrica, calentadores de agua solares en el sector residencial, equipos de aire acondicionado eficiente en el sector residencial, uso de vehículos híbridos y co-procesamiento industrial de neumáticos en cementeras.
- Que representan más costos que beneficios son: lavadoras eficientes en el sector residencial, utilización de biogás en las plantas de tratamiento de aguas residuales para generación eléctrica, uso de refrigeradores y televisores eficientes en el uso de la energía en el sector residencial y, la que resultó más costosa económicamente, el uso de vehículos eléctricos.
- Que más abatimiento de carbono representan son las aplicadas al sector residencial, entre las que se encuentran (en orden descendente de importancia): equipos de aire acondicionado eficientes, calentadores solares de agua, televisiones eficientes, refrigeradores eficientes, luminarias y lavadoras. Sólo ellas,

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

se estima, proporcionan un abatimiento de 14.39 MtCO<sub>2</sub>eq en el año 2030, que representa el 59% del abatimiento total con las medidas de mitigación propuestas.

### **Generales**

- La situación de pobreza en que vive 29% de la población mexicana (según datos de 2012) podría ocasionar que el abatimiento de carbono se viera reducido en 4 MtCO<sub>2</sub>eq en 2030.
- La existencia de barreras para la implementación de las medidas de mitigación propuestas, entre las que se encuentran: bajas tarifas eléctricas en el sector residencial, falta de incentivos fiscales suficientes para promover la eficiencia energética y el uso de energías renovables, y falta de conciencia en el uso de la energía, pueden provocar que el éxito de las medidas de mitigación se vea disminuido.
- México realiza diversos esfuerzos para evaluar las emisiones y fomentar las medidas de mitigación de las emisiones de GEI, mismas que son resultado de instrumentos como la Ley General de Cambio Climático y la firme intención de contribuir a reducir las emisiones relacionadas con el calentamiento global, ya que también ha sufrido de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios en los últimos años; por lo que estas medidas no son sólo para reducirlas, sino también incluyen políticas de adaptación. Sin embargo, también en los documentos oficiales revisados se establece que es poco probable alcanzar las metas de reducciones; como por ejemplo, se ha establecido que el cumplimiento de la cota máxima de 65% en la producción de energía eléctrica con combustibles fósiles a 2026 es casi imposible, pues presenta retos técnicos y económicos que hacen inviable alcanzarla. Es por ello que es necesario redoblar esfuerzos para cumplir las metas derribando las barreras existentes que obstaculizan su éxito.
- Antes de implementar las medidas de mitigación propuestas, se deben formular políticas para el combate a la pobreza, pues el abatimiento de carbono puede verse afectado por esta causa. Esto puede medirse indirectamente el crecimiento del PIB, pero debe considerarse que el impacto sobre el nivel de bienestar por incremento del PIB, generalmente es progresivo; es decir, el ingreso per cápita

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

crece para todos los grupos de ingresos, acumulándose el máximo incremento en los deciles más altos. En este sentido, existen programas sociales en México que han tenido una efectividad limitada, como PROGRESA y oportunidades; sin embargo, se requiere continuar y fortalecerlo para erradicarla por completo, ello traerá beneficios como un mejor nivel de bienestar y menores emisiones de GEI.

- Se deben generar mecanismos para facilitar el acceso a la energía eléctrica para grupos vulnerables o en condiciones de marginación, especialmente para aquellos ubicados en comunidades indígenas, rurales o remotas.
- Se requiere realizar una transición hacia la bioeconomía, cuyos ejes principales de desarrollo son la energía, el agua y la alimentación. Esta consiste en la producción y uso de los recursos naturales para proveer productos, procesos y servicios en todos los sectores de la economía dentro del marco de un sistema económico sustentable.
- Lo que las políticas gubernamentales deben considerar para un crecimiento económico sustentable es:
  - Invertir en instituciones; respetar las leyes, reglamentos e instrumentos normativos; y garantizar la ausencia de la corrupción.
  - Políticas coherentes que incluyan: apertura al comercio, políticas fiscales que fomenten las inversiones en la ingeniería verde y sistemas financieros confiables para ello.
  - Bienes públicos: políticas de ciencia y tecnología enfocadas a la reducción de la pobreza y el aumento del bienestar de la población.
  - Inversión en recursos humanos que promuevan la creación de empleos bien remunerados.

De esa manera se dará mayor oportunidad al cumplimiento de las metas de reducción de emisiones GEI planteadas.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- Se requiere una evaluación de costos de medidas de mitigación que incluya externalidades (como afectaciones a la salud) y se le dé la importancia debida; esto puede traer mayores beneficios y mayor posibilidad de que se implementen.
- Se requiere realizar investigación en factores de emisión de GEI específicos para México, especialmente para cada tecnología que utiliza combustibles fósiles y, de esa manera realizar estimaciones con mayor exactitud. Un ejemplo de ello son los factores de emisión que existen para el sector autotransporte, específicos para cada modelo y marca de autos.
- Las políticas climáticas que sólo se sustentan en tecnologías de eficiencia energética podrían necesitar un refuerzo por instrumentos de mercado como impuestos a la electricidad y otros mecanismos incentivos. Sin ellos una porción significativa de la reducción de emisiones de GEI esperada y alcanzable tecnológicamente podría atenuarse debido a fenómenos como el efecto rebote.
- Se requiere implementar una política que proporcione estímulos económicos por utilización de tecnologías eficientes a las personas de bajos ingresos económicos proporcionando equidad, ya que, los que los reciben son las de altos ingresos económicos.

### 8.3. LIMITACIONES DEL MODELO DE ENERGÍA Y EMISIONES PARA MÉXICO

Este modelo, a pesar de ser muy útil tiene las limitaciones que se describen a continuación:

- Solo utiliza el método de abajo hacia arriba en el sector residencial y autotransporte.
- Sólo estima las emisiones de GEI en forma de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.
- En los sectores que se utiliza la metodología top-down no se consideran variaciones de intensidad energética en el futuro o porcentaje de combustibles utilizados, pues se mantienen constantes.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- Este modelo posee las limitaciones de capacidad de procesamiento de información propias del paquete de cómputo de Microsoft Excel, ya que en él está construido.
- Debido a que las proyecciones de demanda de electricidad y economía con exógenas al modelo, no hay retroalimentación entre el mix tecnológico para generación eléctrica y los impulsores tecnológicos. Por ejemplo, un cambio en el mix tecnológico hacia una mejor eficiencia no puede reducir la demanda total.
- En el caso del sector residencial, si existe la implementación de una tecnología que utiliza una fuente de energía renovable como la solar y que afecta directamente a un energético utilizado, como es el caso del gas LP; no reduce el consumo de éste último. Es decir, el uso de calentadores solares no reduce el consumo de Gas LP en todo el sector.
- No pueden hacerse estimaciones de otros usos finales que no vengan planteados en el modelo. Por ejemplo, el uso de planchas en el sector residencial no puede analizarse directamente, y se contabiliza el consumo de electricidad por esta causa en el apartado de “otros usos”.

### **Limitaciones del estudio**

- La carencia de información específica en algunos casos, como el PIB que tienen todas las ramas del sector industrial, ocasiona que para homogeneizarla se pueda reducir su exactitud en cierta medida.
- El usar factores de emisión estándar publicados por el IPCC puede reducir la exactitud de las estimaciones, ya que lo más recomendable sería tener factores de emisión específicos para México.
- Muchas de las industrias privadas contactadas para evaluar las medidas de mitigación se negaron a proporcionar información debido a criterios de confidencialidad.
- Los costos evaluados están sujetos a la volatilidad de los precios de las tecnologías de mitigación en el mercado.

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

## 9. REFERENCIAS

- ANCE, 2013. NMX-J-585-ANCE-2007. Aparatos electrodomésticos y similares - Lavadoras eléctricas de ropa- Métodos de prueba para la eficiencia energética, el consumo de agua y la capacidad volumétrica., México: ANCE.
- ANDELLAC, ANILLAC & CNIH, 2013. Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho. [En línea] Available at: <http://www.cnih.com.mx/Plan%20de%20Manejo%20de%20Neumaticos%20Usados%20de%20Desecho.pdf> [Último acceso: 7 Enero 2016].
- Arroyo-Cabañas, F.G., J.E. Aguillón-Martínez, J.J. Ambríz-García, and G. Canizal. "Electric Energy Saving Potential by Substitution of Domestic Refrigerators in Mexico." *Energy Policy* 37, no. 11 (November 2009): 4737–42. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.032.
- ATLATEC, 2012. Planta de Tratamiento "El ahogado". Publicación de empresa privada. Guadalajara Jalisco México.
- Ávila, Juan Carlos Solís, and Claudia Sheinbaum Pardo. "CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE CO2 DEL AUTOTRANSPORTE EN MÉXICO Y ESCENARIOS DE MITIGACIÓN." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32, no. 1 (2016): 7–23.
- Baca Urbina Gabriel., 2010. Fundamentos de Ingeniería Económica. Quinta edición. México. D.F.: Mc. Graw Hill. ISBN 13: 978-607-15-0538-5
- Blank Leland and Tarquin Anthony, T. A., 2012. Ingeniería Económica. Séptima edición. Nueva York: Mc. Graw Hill. ISBN: 978-0-07-337630-1
- BP Global, 2016. British Petroleum. [En línea] Available at: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- CANACEM, 2012. Cámara nacional del cemento. [En línea] Available at: [http://www.usmexicoborder2012.org/files/Regional\\_Workgroups/CT-CEMEX.pdf](http://www.usmexicoborder2012.org/files/Regional_Workgroups/CT-CEMEX.pdf) [Último acceso: 27 Diciembre 2015].
- Carta González José Antonio, Calero Pérez Roque, Colmenar Santos Antonio y Castro Gil Manuel Alonso., 2009. Centrales de Energías Renovables, Generación Eléctrica con Energías Renovables. Madrid España: UNED, Pearson Prentice Hall. ISBN: 978-84-8322-600-1
- Cedano de León Diana Carolina, 2012. Valorización energética de residuos como combustibles alternativos de las plantas cementeras., Tesis de Maestría., Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- CEMAER, 2014. Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables. [En línea] Available at: <http://www.cemaer.org/tipos-de-sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica/> [Último acceso: 19 Junio 2015].
- CFE, 2007. Informes anuales y de labores CFE 2007. Comisión Federal de Electricidad [En línea] Available at: [www.mty.itesm.mx/etie/.../informes\\_anuales\\_y\\_de-labores\\_de\\_CFE.doc](http://www.mty.itesm.mx/etie/.../informes_anuales_y_de-labores_de_CFE.doc)

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

CFE, 2009. Comisión Federal de Electricidad. [En línea] Available at:

[http://www.cfe.gob.mx/Proveedores/3\\_Licitacionesprincipales/Lists/Proyecto%20de%20convocatoria%20de%20obras%20publicas/Attachments/15/ANEXO1Lineamientos\[1\].pdf](http://www.cfe.gob.mx/Proveedores/3_Licitacionesprincipales/Lists/Proyecto%20de%20convocatoria%20de%20obras%20publicas/Attachments/15/ANEXO1Lineamientos[1].pdf) [Último acceso: 25 de Abril 2015].

CFE, 2014. POISE 2012-2026. [En línea] Available at:

[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/\\_layouts/mobile/dispsform.aspx?List=02198503%2D8a91%2D4a57%2D904d%2Dd6558215bdf4&View=58b9a1a3%2Db23d%2D4a10%2D8b97%2D6e7c19221302&ID=7](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/_layouts/mobile/dispsform.aspx?List=02198503%2D8a91%2D4a57%2D904d%2Dd6558215bdf4&View=58b9a1a3%2Db23d%2D4a10%2D8b97%2D6e7c19221302&ID=7)

CFE, 2015. Conoce tu tarifa. Comisión Federal de Electricidad. [En línea] Available at:

[http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_casa.asp](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp) [Último acceso: 16 Junio 2015].

Clerc Jacques, Díaz Manuel, Campos Bruno. “Desarrollo de una metodología para la construcción de curvas de abatimiento de emisiones de GEI incorporando la incertidumbre asociada a las principales variables de mitigación”. México. Banco Interamericano de Desarrollo. 2013.

CONAGUA, 2011. Comisión Nacional del Agua. [En línea] Available at: <http://smn.cna.gob.mx> [Último acceso: 20 Octubre de 2012].

Connolly, D., H. Lund, B.V. Mathiesen, and M. Leahy. “A Review of Computer Tools for Analysing the Integration of Renewable Energy into Various Energy Systems.” *Applied Energy* 87, no. 4 (April 2010): 1059–82. doi:10.1016/j.apenergy.2009.09.026.

CONUEE, 2014. Propuesta: Manual para capacitadores (apoyo a familias de bajos ingresos en el uso eficiente de la energía)". [En línea] Available at:

<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7067/2/01Manualparacapacitadores.pdf>

Curiel Anaya Christian Michel, 2011. Estrategias Óptimas de Abatimiento de Emisiones Contaminantes (Informe de tesis de Maestría en Ciencias Matemáticas), Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Dávila José Luis. “Reduciendo emisiones de metano en el sector de residuos sólidos”. México. .Iniciativa Global de Metano. 2013. Available at: [https://www.globalmethane.org/documents/events\\_land\\_20110701\\_davila.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20110701_davila.pdf) [Último acceso: 23 Diciembre 2015].

Del Río Portilla Jesús Antonio, 2015. “Autos ¿eléctricos o de gasolina?” Periódico La Unión de Morelos. Día 28 de Abril de 2015 [En línea] Available at: <http://www.launion.com.mx/opinion/sin-embargo-se-mueve/noticias/70674-autos-%C2%BFel%C3%A9ctricos-o-de-gasolina.html> [Último acceso: 18 Mayo 2015].

den Elzen, Michel, Paul Lucas, and Detlef van Vuuren. “Abatement Costs of Post-Kyoto Climate Regimes.” *Energy Policy* 33, no. 16 (November 2005): 2138–51. doi:10.1016/j.enpol.2004.04.012.

den Elzen, Michel G.J., Niklas Höhne, Bernd Brouns, Harald Winkler, and Herrmann E. Ott. “Differentiation of Countries’ Future Commitments in a Post-2012 Climate Regime.” *Environmental Science & Policy* 10, no. 3 (May 2007): 185–203. doi:10.1016/j.envsci.2006.10.009.

ENERDATA, 2016. European Energy Efficiency and Demand Database. [En línea] Available at:

<http://www.enerdata.net/enerdatauk/knowledge/subscriptions/database/>

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

EPA, 2015. Environmental Protection Agency Landfill methane outreach program. [En línea] Available at: <http://www3.epa.gov/lmop/basic-info/index.html>

Foncerrada Pascal Luis, Castillo Ramos Gerardo & Hernández Trejo Sergio, 2016. ¿En qué medida contribuyen el crecimiento y la desigualdad en los niveles de pobreza en México? INEGI. [En línea] Available at: [http://www.inegi.org.mx/RDE/rde\\_12/rde\\_12\\_art5.html](http://www.inegi.org.mx/RDE/rde_12/rde_12_art5.html)

García Becerra Noé., 2014. Eficiencia energética en México, una década de retos, s.l.: s.n.

Goldemberg, José, and World Resources Institute, eds. Energy for a Sustainable World. World Resources Institute Report. Washington, DC, USA: World Resources Institute, 1987 . 517 pages. ISBN-13: 978-0470209837.

Gómez Rodríguez Arturo, 2014. Experiencias del FIPATERM, alcance y resultados. [En línea] Available at: <http://www.ahorroenergia.org.mx/portal/images/pdf/fipaterm2014.pdf> [Último acceso: Diciembre 2014].

González Arizmendi Carlos., 2014. Todo lo que debes saber sobre los vehículos eléctricos en México. Artículo obtenido del periódico Publimetro del día 24 de junio de 2014, Available at: <http://www.publimetro.com.mx/vida/todo-lo-que-debes-saber-sobre-los-vehiculos-electricos-en-mexico/mnfy!fB8hgBWZy1i3A/>

Greening Lorna A., Greene David L. and Difiglio Carmen. “Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey” Energy Policy 28, (2000): 389-401

HOLCIM APASCO, 2015. Informe de Desarrollo Sustentable 2006. [En línea] Available at: <https://www.unglobalcompact.org/system/attachments/176/original/COP.pdf?1262614173> [Último acceso: 6 Enero 2016].

Hossaim Mondai Alam, 2010. Implications of renewable energy technologies in the Bangladesh power sector: long term planning strategies. Dissertation, Bonn Germany: ZEF Bonn.

ICCT, 2016. The international Council on Clean Transportation. [En línea] Available at: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU\\_pocketbook\\_2014.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU_pocketbook_2014.pdf). Último acceso 13 de junio de 2016.

IEA, 2015a. International Energy Agency. [En línea] Available at: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld\\_Statistics\\_2015.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf)

IEA, 2015b. International Energy Agency. [En línea] Available at: [http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2015/WEO2015\\_Chapter01.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2015/WEO2015_Chapter01.pdf)

INECC, 2015. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. [En línea] Available at: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf\\_inegei\\_public\\_2010.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf)

INECC, 2015. Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares. [En línea] Available at: <http://www.ecovehiculos.gob.mx/> [Último acceso: 15 Mayo 2015].

INECC, 2016. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. [En línea] Available at: <http://iecc.inecc.gob.mx/indc.php>

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

INEGI, 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [En línea] Available at: <http://www.inegi.org.mx/>

INEGI, 2013. Conociendo México. Tercera edición. [En línea] Available at: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/mexico3er.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/mexico3er.pdf) [Último acceso: 25 Mayo 2014].

INEGI, 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. [En línea] Available at: <http://www.inegi.org.mx/>

INEGI, 2016a. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [En línea] Available at: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biinegi/>

Investing.com, 2016. Emisiones de Carbono futuros - Jan 16 (CFI2Z6). [En línea] Available at: <http://es.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data> [Último acceso: 5 Enero 2016].

IPCC, 2007. Climate change 2007. Working group I: The Physical Science Basis" Direct Global Warming potentials., París : IPCC. [En línea] Available at: [https://www.ipcc.ch/report/ar5/index\\_es.shtml](https://www.ipcc.ch/report/ar5/index_es.shtml)

IPCC, 2008. "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Volumen 2: Energy, Chapter 1, 2 and 3. Introduction, stationary combustion and mobile combustion,: International Panel of Climate Change. Available at: <http://www.ipcc.ch/meetings/session25/doc4a4b/vol2.pdf>

IPCC, s.f. Task Force on Natural Greenhouse Gas Inventories. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. [En línea] Available at: <http://www.ipcc.ch/> [Último acceso: 3 Noviembre 2013].

Johnson Todd, Alatorre Claudio, Romo Zayra y Liu Feng, 2009. México, Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono (MEDEC). Washington DC.: Banco Mundial, Mayol ediciones.

Juárez Hernández Sergio, 2012. Tesis: Planeación, diseño e instalación de un prototipo para la conversión de desechos orgánicos en energía térmica. México D.F.: UNAM.

Lima-Velasco Juan Ignacio, 2003. Ahorro de energía eléctrica, Implementación metodológica. México DF. Exodo. ISBN: 970-737-009-2.

Limón Macías, Juan Alberto. "Lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, problema o recurso". México. Informe de Ingeniería Química. 2013. [Retrieved from: [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_gualberto\\_limon\\_trabajo\\_de\\_ingreso.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf)].

Lior, N. "Energy Resources and Use: The Present Situation and Possible Paths to the Future ☆." Energy 33, no. 6 (June 2008): 842–57. doi:10.1016/j.energy.2007.09.009.

Maqueda Zamora Martín, Sánchez Viveros Luis Agustín, 2008. Curvas de Demanda de Energía Eléctrica en el Sector Doméstico de dos regiones de México. [En línea] Available at: <http://www.iie.org.mx/boletin042011/investiga.pdf> [Último acceso: Noviembre 2014].

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Mathur, J. "Development of a modified dynamic energy and greenhouse gas reduction planning approach through the case of the power Indian sector". Essen Germany. Dissertation University of Essen. 2001

MICHELCIC James R., Zimmerman Julie Beth., 2012. Ingeniería ambiental. Fundamentos, sustentabilidad y diseño.. México. D.F.: Alfaomega. ISBN: 978-607-707-317-8

NASA, 2013. Variabilidad solar y clima terrestre. [En línea] Available at: [http://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/08jan\\_sunclimate/](http://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/08jan_sunclimate/) [Último acceso: 25 05 2016].

Nguyen, H. "Long Term Optimization of energy supply and demand in Vietnam with special reference to the potential of renewable energy". Oldenburg Germany. Dissertation University of Oldenburg. 2005.

O’Ryan Raúl, "Diseño de un modelo de proyección de demanda energética global nacional de largo plazo". Chile. Universidad de Chile. 2008. [Retrieved from: <http://docplayer.es/14370237-Diseno-de-un-modelo-de-proyeccion-de-demanda-energetica-global-nacional-de-largo-plazo.html>].

Pandey, Rahul. "Energy Policy Modelling: Agenda for Developing Countries." Energy Policy 30, no. 2 (2002): 97–106.

PBL, 2015. Netherlands Environmental Assessment Agency. [En línea] Available at: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data-providers-and-partners/netherlands-environmental-assessment-agency-pbl>

PESCO, 2015. PESCO Solar. [En línea] Available at: <http://www.pesco.com.mx/pesco/eficiencia/index.php/servicios/sistemas-fotovoltaicos/radiacion-solar>

Pistonesi Carlos, Haure José Luis y D’Elmar Roberto, 2010. Energía a partir de las aguas residuales. [En línea] Available at: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/energia\\_aguas\\_residuales/energia\\_aguas\\_residuales.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/energia_aguas_residuales/energia_aguas_residuales.pdf) [Último acceso: 27 Diciembre 2015].

Reddy, Amulya KN, Antonette D’Sa, Gladys D. Sumithra, and P. Balachandra. "Integrated Energy Planning: Part I. The DEFENDUS Methodology." Energy for Sustainable Development 2, no. 3 (1995): 15–26.

Rosas, Jorge, Claudia Sheinbaum, and David Morillon. "The Structure of Household Energy Consumption and Related CO2 Emissions by Income Group in Mexico." Energy for Sustainable Development 14, no. 2 (June 2010): 127–33. doi:10.1016/j.esd.2010.04.002.

Rostamihozori, N., 2001. Development of energy and emission control strategies for Iran. Dissertation, Karlsruhe, Germany: University of Karlsruhe.

Sánchez Maza Miguel Ángel., 2008a. Energía Solar térmica. México DF.: Limusa. ISBN-13: 978-968-18-7198-7

Sánchez-Maza Miguel Ángel, 2008b. Energía Solar Fotovoltaica. México D.F.: Limusa. ISBN-13: 978-968-18-7197-0

SAT, 2016. Servicio de Administración Tributaria. [En línea] Available at: [http://www.sat.gob.mx/informacion\\_fiscal/normatividad/Paginas/leyes\\_2016.aspx](http://www.sat.gob.mx/informacion_fiscal/normatividad/Paginas/leyes_2016.aspx)

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Sathaye Jayant and Ketoff Andrea. "CO<sub>2</sub> Emissions from Major Developing Countries: Better Understanding the Role of Energy in the Long Term" The Energy Journal. Vol. 12, No. 1, Special Issue on Global Warming (1991), pp. 161-196.

SEDESOL, 2014. Secretaría de Desarrollo Social. [En línea] Available at: <http://www.sedesol.gob.mx/es/SEDESOL/Comunicados/2732/apoya-diconsal-el-programa-de-ahorro-de-energia> [Último acceso: 15 Junio 2015].

SEGOB, 2015. Secretaría de Gobernación: Diario Oficial de la Federación. [En línea] Available at: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5107404&fecha=28/08/2009](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5107404&fecha=28/08/2009)

SEMARNAT, 2015. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. [En línea] Available at: [http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa\\_especial\\_de\\_cambio\\_climatico\\_2014-2018.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa_especial_de_cambio_climatico_2014-2018.pdf).

SEMARNAT, 2016a. Procuraduría Federal de Protección al ambiente (PROFEPa). [En línea] Available at: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/658/1/nom-163-semarnat-ener-scfi-2013.pdf>

SEMARNAT, 2016b. Instituto Nacional de Ecología. [En línea] Available at: [http://coclima.guanajuato.gob.mx/archivos/file/Libros/Potencial\\_mitigacion\\_GEI\\_Mexico\\_2020\\_COP.pdf](http://coclima.guanajuato.gob.mx/archivos/file/Libros/Potencial_mitigacion_GEI_Mexico_2020_COP.pdf)

SEMARNAT, 2016c. Estrategia Nacional de Cambio Climático. [En línea] Available at: [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06\\_otras/ENCC.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf)

SENER, AIE, 2014. Indicadores de Eficiencia Energética en México. [En línea] Available at: [http://www.energia.gob.mx/taller/res/1858/IEE\\_Mexico.pdf](http://www.energia.gob.mx/taller/res/1858/IEE_Mexico.pdf)

SENER, 2008. NOM-021-ENER-2008. Obtenido de Eficiencia Energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto [En línea]. Available at: [http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/normas\\_de\\_eficiencia\\_energetica\\_vigentes](http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/normas_de_eficiencia_energetica_vigentes)

SENER, 2010. NOM-028-ENER-2010. Obtenido de Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y método de prueba. [En línea] [http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/normas\\_de\\_eficiencia\\_energetica\\_vigentes](http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/normas_de_eficiencia_energetica_vigentes)

SENER, 2012. NOM-015-ENER-2012. Obtenido de Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos [En línea] [http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/normas\\_de\\_eficiencia\\_energetica\\_vigentes](http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/normas_de_eficiencia_energetica_vigentes)

SENER, 2012. Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo 2012-2026. [En línea] Available at: [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/PGLP\\_2012\\_2026.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PGLP_2012_2026.pdf)

SENER, 2013. Prospectiva del sector eléctrico 2012-2026. [En línea] Available at: [http://www.energia.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/PSE\\_2012\\_2026.pdf](http://www.energia.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PSE_2012_2026.pdf)

SENER, 2013. Sistema de Información Energética. [En línea] Available at: <http://sie.energia.gob.mx/>

SENER, 2014a. Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. [En línea] Available at: [http://www.sener.gob.mx/res/gef/PRONASE%202014\\_2018%20FINAL%20REV\\_08\\_05\\_14.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/gef/PRONASE%202014_2018%20FINAL%20REV_08_05_14.pdf)

# Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

- SENER, 2014b. NOM-005-ENER-2012. Obtenido de Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba e información al público.: [En línea] Available at: <http://www.dof.gob.mx/>
- SENER, 2014c. NOM-005-ENER-2000. Obtenido de Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba e información al público [En línea] Available at: <http://www.dof.gob.mx/>
- SENER, 2014d. NOM-015-ENER-1997. Obtenido de Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado [En línea] Available at: <http://www.dof.gob.mx/>
- SENER, 2014e. NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000. Obtenido de Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario y eliminación de clorofluorocarbonos (CFC's) en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado: [En línea] Available at: <http://www.dof.gob.mx/>
- SENER, 2014f. NOM-073-SCFI-1994, Obtenido de Eficiencia energética de acondicionadores de aire tipo cuarto - Límites - Métodos de prueba y etiquetado. [En línea] available at: <http://www.dof.gob.mx/>
- SENER, 2014g. Secretaría de Energía. Obtenido de Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2012-2026: [En línea] Available at: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62957/Prospectiva\\_del\\_Mercado\\_de\\_Gas\\_Natural\\_2012-2026.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62957/Prospectiva_del_Mercado_de_Gas_Natural_2012-2026.pdf)
- SENER, 2014. PRONASE. [En línea] Available at: [http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/pronase\\_20142018](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/pronase_20142018)
- SENER, 2015a. Balance Nacional de Energía 2014. [En línea] Available at: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44353/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2014.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44353/Balance_Nacional_de_Energ_a_2014.pdf)
- SENER, 2015b. Secretaría de Energía. [En línea] Available at: [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2014/Balance\\_2014.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2014/Balance_2014.pdf) [Último acceso: 18 Abril 2015].
- SENER, 2016. Secretaría de Energía. [En línea] Available at: <http://sie.energia.gob.mx/>
- Sheinbaum Claudia, Briceño Viloría Sonia, Ordoñez Díaz José Antonio Benjamín, Robles Morales Guillermo, Peña Rodríguez Edgar, 2011. Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción Climática. Ciudad de México. Instituto Nacional de Ecología e Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Sheinbaum, Claudia, and Omar Masera. "Mitigating Carbon Emissions While Advancing National Developmentpriorities: The Case of México." *Climatic Change* 47, no. 3 (2000): 259–282.
- Solar-Heliocol, M., 2014. Hliocol. Página de internet de empresa de tecnología solar en México. [En línea] Available at: <http://www.heliocol.com.mx/index.html> [Último acceso: 18 Junio 2015].
- Solís-Ávila, J. C., 2013. Tesis Doctoral: "Análisis del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte en México y escenarios de mitigación", México D.F.: UNAM.
- Stephens, S. a., 2002. Estadística. Ciudad de México. Editorial Mc Graw Hill. ISBN: 978-970-10-3271-8.

## Escenarios de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para México al año 2030

---

Topten.eu, 2014. Best Products of Europe. [En línea] Available at: <http://www.topten.eu/>

Twidell John and Tony Weir., 2006. Renewable energy resources. E.E.U.U.: Editorial Routledge, Taylor and Francis. ISBN: 978-1-315-76641-6

UNAM, 2015. Instituto de Geofísica. Obtenido de Energía Solar. [En línea] Available at: [http://www.geofisica.unam.mx/ors/energia\\_solar1.pdf](http://www.geofisica.unam.mx/ors/energia_solar1.pdf).

UNFCCC, 2015. United Nations Framework Convention on Climate Change. [En línea] Available at: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

UNSW, 2009. The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the World on the Latest Climate Science. Sidney: University of New South Wales.

USDOT, 2016. United States Department of Transportation. [En línea] Available at: [http://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov/bts/files/publications/national\\_transportation\\_statistics/html/table\\_04\\_23.html](http://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov/bts/files/publications/national_transportation_statistics/html/table_04_23.html)

YAAXTEC, 2013. Energía y Tecnología Alternativa. [En línea] Available at: [http://www.yaaxtec.com/Productos/VerProducto/84/construyen\\_en\\_jalisco\\_granja\\_solar.html](http://www.yaaxtec.com/Productos/VerProducto/84/construyen_en_jalisco_granja_solar.html) [Último acceso: 18 Mayo 2015].

## ANEXO 1

### **FACTORES DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO APLICADOS A LA INVESTIGACIÓN (Kg de GEI/TJ)**

| ENERGÉTICO                    | Factor de emisión (KgGEI/TJ)*  |                 |                  |  |                  |      |
|-------------------------------|--|-----------------|------------------|--|------------------|------|
|                               | Residencial, agropecuario  |                 |                  | Sector transporte, industrial y consumo propio |                  |      |
|                               | CO <sub>2</sub>  | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | CH <sub>4</sub>                                | N <sub>2</sub> O |      |
| Carbón                        | 94600  |                 |                  |  | 10               | 1.5  |
| Energía Solar                 | 0  |                 | 0                | 0  | 0                | 0    |
| Combustóleo                   | 77400  | n.a.            | n.a.             |  | 3                | 0.6  |
| Coque de Carbón               | 107000   | n.a.            | n.a.             |  | 10//1**          | 1.5  |
| Querosenos                    | 71900  |                 | 10               | 0.6  | 3                | 0.6  |
| Coque de Petróleo             | 97500  | n.a.            | n.a.             |  | 3                | 0.6  |
| Bagazo de caña                | 0  | n.a.            | n.a.             |  | 30               | 4    |
| Gas Licuado de Petróleo (GLP) | 63100  |                 | 5                | 0.1  | 1                | 0.1  |
| Gas seco o gas natural        | 56100  |                 | 5                | 0.1  | 1                | 0.1  |
| Diesel                        | 74100  |                 | 10               | 0.6  | 3                | 0.6  |
| Gasolinas y Naftas            | 69300  |                 | 1                | 0.6  | 1                | 0.6  |
| Leña                          | 0  |                 | 300              | 4  | n.a.             | n.a. |
| Gasolina avión                | 70,000   | n.a.            | n.a.             |  | 3                | 0.6  |
| Querosenos avión              | 71500  | n.a.            | n.a.             |  | 3                | 0.6  |
| Electricidad                  | Este factor corresponde al mix de generación eléctrica de cada año y se encuentra en la tabla 20 |                 |                  |  |                  |      |

\* Los factores de emisión están dados en base al poder calorífico neto de cada energético.

\*\* El factor de 10 corresponde al sector industrial y el 1 al sector de consumo propio.

"n.a." significa "no aplica" debido a que ese energético no se aplica a ese sector.

| FACTORES DE EMISION GEI (KgGEI/TJ) |                 |                 |                  |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Generación eléctrica               |                 |                 |                  |
| ENERGÉTICO                         | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
| Carbón Sub-bituminoso              | 96100           | 1               | 1.5              |
| Diesel                             | 74100           | 3               | 0.6              |
| Combustoleo                        | 77400           | 3               | 0.6              |
| Coque de petróleo                  | 97500           | 3               | 0.6              |
| Gas licuado                        | 63100           | 1               | 0.1              |
| Gas Seco                           | 56100           | 1               | 0.1              |
| Nucleoenergía                      | 0               | 0               | 0                |
| Hidroenergía                       | 0               | 0               | 0                |
| Geoenergía                         | 0               | 0               | 0                |
| Energía eólica                     | 0               | 0               | 0                |
| Biogas                             | 0               | 30              | 4                |
| Bagazo de caña                     | 0               | 30              | 4                |

| POTENCIAL DE CALENTAMIENTO |           |          |          |
|----------------------------|-----------|----------|----------|
| GEI                        | HORIZONTE |          |          |
|                            | 20 AÑOS   | 100 AÑOS | 500 AÑOS |
| CH <sub>4</sub>            | 72        | 25       | 7.6      |
| N <sub>2</sub> O           | 289       | 298      | 153      |

## ANEXO 2

### HOJAS DE DATOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN

#### ➤ ILUMINACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL

| AÑO   | 2015      | 2030                      |
|---|-----------|---------------------------|
| Actividad Viviendas particulares habitadas (Millones)                   | 32.99     | 50.59                     |
| Número de luminarias por vivienda                                       | 7.3       | 7.3                       |
| <b>Escenario tendencial</b>   |           |                           |
| Iluminación eficiente por Lámparas Fluorescentes Compactas (saturación) | 90%       | 90%                       |
| Iluminación ineficiente por lámparas incandescentes (saturación)        | 10%       | 10%                       |
| Consumo ponderado en iluminación (KWh/vivienda*año)                     | 258.8     | 258.8                     |
| Consumo ponderado de electricidad por luminaria (KWh/lámpara*año)       | 35.6      | 35.6                      |
| Número de luminarias Incandescentes (Millones)                          | 24.0      | 36.8                      |
| Número de luminarias fluorescentes (Millones)                           | 215.9     | 331.1                     |
| Nuevas lámparas incandescentes (Millones)                               | 23.74     | 1.03                      |
| Nuevas lámparas fluorescentes (Millones)                                | 87.8      | 279.3                     |
| Costo unitario de lámpara fluorescente (\$)                             |           | 50                        |
| Costo unitario de lámpara incandescente (\$)                            |           | 10                        |
| Costo de inversión lámparas fluorescentes (M\$)                         | 4,392     | 13,965                    |
| Costo de inversión lámparas incandescentes (M\$)                        | 240       | 368                       |
| Costo total de inversión (M\$)  | 4,632     | 14,333                    |
| Costo de la electricidad (\$/KWh)                                       |           | 0.976                     |
| Costo operación iluminación escenario tendencial (M\$)                  | 8,332     | 12,777                    |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                         | 12,964    | 27,110                    |
| Consumo anual de electricidad iluminación (PJ)                          | 30.73     | 47.13                     |
| Consumo anual de electricidad iluminación (GWh)                         | 8,536.9   | 13,091.7                  |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh)    | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                            | 3,890,864 | 6,095,170                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)                  |           | 111,335                   |
| Inversión anualizada (M\$)  |           | 16,347                    |
| <b>Escenario de mitigación</b>  |           |                           |
| Iluminación eficiente por Lámparas Fluorescentes Compactas (saturación) | 100%      | 0%                        |
| Iluminación ineficiente por lámparas LEDS (saturación)                  | 0%        | 100%                      |
| Consumo ponderado en iluminación (KWh/vivienda*año)                     | 27.4      | 18.3                      |
| Consumo ponderado de electricidad por luminaria (KWh/lámpara*año)       | 199.1     | 132.7                     |
| Número de Lámparas Fluorescentes Compactas (Millones)                   | 237.4     | 0                         |
| Número de luminarias LEDS (Millones)                                    | 0         | 367.7                     |
| Nuevas Lámparas Fluorescentes Compactas (Millones)                      | 237.4     | 0                         |
| Nuevas lámparas LEDS (Millones)   | 0         | 10.3                      |
| Costo unitario de Lámpara Fluorescente Compacta (\$)                    |           | 50                        |
| Costo unitario de lámpara LED (\$)                                      |           | 95                        |
| Costo de inversión Lámparas Fluorescentes Compactas (M\$)               | 11,871    | 0                         |
| Costo de inversión Luminarias LEDS (M\$)                                | 0         | 983                       |
| Costo total inversión (M\$)   | 11,871    | 983                       |
| Costo de la electricidad (\$/KWh)                                       |           | 0.976                     |
| Costo operación iluminación escenario mitigación (M\$)                  | 6,409     | 6,553                     |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                         | 18,281    | 7,535                     |
| Consumo anual de electricidad iluminación (PJ)                          | 24        | 24                        |
| Consumo anual de electricidad iluminación (GWh)                         | 6,567     | 6,714                     |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh)    | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                            | 2,992,973 | 3,125,728                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)                  |           | 87,284                    |
| Inversión anualizada (M\$)  |           | 12,815                    |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO <sub>2</sub> eq)                    | 897,892   | 2,969,442                 |
| Costo por tonelada evitada  | -79.28    | USD/TonCO <sub>2</sub> eq |

➤ **REFRIGERADORES EN EL SECTOR RESIDENCIAL**

| AÑO  | 2015      | 2030                      |
|--|-----------|---------------------------|
| <b>Escenario tendencial</b>  |           |                           |
| Refrigeradores (saturación)  | 90%       | 99%                       |
| Consumo ponderado en refrigeración (KWh/vivienda*año)                | 440.6     | 372.0                     |
| Número de refrigeradores (Millones)                                  | 29.6      | 50.1                      |
| Nuevos refrigeradores adquiridos (Millones)                          | 2.01      | 3.41                      |
| Costo unitario de refrigerador (\$)                                  | 8100      |                           |
| Costo de inversión refrigeradores (M\$)                              | 16,241    | 27,656                    |
| Costo operación refrigeradores escenario tendencial (M\$)            | 14,187    | 18,368                    |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                      | 30,428    | 46,024                    |
| Consumo anual de electricidad refrigeración (PJ)                     | 47        | 67                        |
| Consumo anual de electricidad refrigeración (GWh)                    | 13056     | 18632                     |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh) | 425.4     | 225.4                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                         | 5,950,573 | 8,674,417                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)               | 306,787   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)   | 45,044    |                           |
| <b>Escenario de mitigación</b>                                       |           |                           |
| Refrigeradores (saturación)  | 90%       | 99%                       |
| Consumo ponderado en refrigeración (KWh/vivienda*año)                | 425.4     | 225.4                     |
| Número de refrigeradores (Millones)                                  | 29.6      | 50.1                      |
| Nuevos refrigeradores adquiridos modelo 2015 (Millones)              | 2.0       | 0                         |
| Nuevos refrigeradores adquiridos modelo 2020 (Millones)              | 0         | 3.4                       |
| Costo unitario de refrigerador modelo 2015 (\$)                      | 10000     |                           |
| Costo unitario de refrigerador modelo 2020 (\$)                      | 14000     |                           |
| Costo de inversión refrigeradores modelo 2015 (M\$)                  | 20,051    | 0                         |
| Costo de inversión refrigeradores modelo 2020 (M\$)                  | 0         | 47,800                    |
| Costo total inversión (M\$)  | 20,051    | 47,800                    |
| Costo operación refrigeración escenario de mitigación (M\$)          | 12,304    | 11,016                    |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                      | 32,355    | 58,817                    |
| Consumo anual de electricidad iluminación (PJ)                       | 45        | 41                        |
| Consumo anual de electricidad iluminación (GWh)                      | 12,607    | 11,287                    |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh) | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                         | 5,745,744 | 5,255,103                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)               | 383,365   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)   | 56,287    |                           |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO <sub>2</sub> eq)                 | 204,828   | 3,419,314                 |
| Costo por tonelada evitada   | 219.22    | USD/TonCO <sub>2</sub> eq |

➤ **LAVADORAS DE ROPA EN EL SECTOR RESIDENCIAL**

| AÑO  | 2015      | 2030                      |
|--|-----------|---------------------------|
| <b>Escenario tendencial</b>  |           |                           |
| Lavadoras de ropa (saturación)                                       | 72%       | 99%                       |
| Consumo ponderado en lavadoras (KWh/vivienda*año)                    | 115.8     | 110.2                     |
| Número de lavadoras (Millones)                                       | 23.7      | 50.2                      |
| Nuevas lavadoras adquiridas (Millones)                               | 2.84      | 5.86                      |
| Costo unitario de lavadora (\$)                                      | 4500      |                           |
| Costo de inversión lavadoras (M\$)                                   | 12,801    | 26,371                    |
| Costo operación lavadoras escenario tendencial (M\$)                 | 2,677     | 5,398                     |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                      | 15,478    | 31,769                    |
| Consumo anual de electricidad lavadoras (PJ)                         | 9.87      | 19.91                     |
| Consumo anual de electricidad lavadoras (GWh)                        | 2,743     | 5,531                     |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh) | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                         | 1,249,995 | 2,574,995                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)               | 164,884   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)   | 24,209    |                           |
| <b>Escenario de mitigación</b>                                       |           |                           |
| Lavadoras (saturación)   | 72%       | 99%                       |
| Consumo ponderado lavadoras (KWh/vivienda*año)                       | 111.8     | 40.0                      |
| Número de lavadoras (Millones)                                       | 23.7      | 50.2                      |
| Nuevas lavadoras adquiridas modelo 2015 (Millones)                   | 2.84      | 0.00                      |
| Nuevas lavadoras adquiridos modelo 2020 (Millones)                   | 0.00      | 5.86                      |
| Costo unitario de lavadoras modelo 2015 (\$)                         | 5000      |                           |
| Costo unitario de lavadoras modelo 2020 (\$)                         | 6000      |                           |
| Costo de inversión lavadoras modelo 2015 (M\$)                       | 14,224    | 0                         |
| Costo de inversión lavadoras modelo 2020 (M\$)                       | 0         | 35,162                    |
| Costo total inversión (M\$)  | 14,224    | 35,162                    |
| Costo operación lavadoras escenario de mitigación (M\$)              | 2,586     | 1,959                     |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                      | 16,809    | 37,121                    |
| Consumo anual de electricidad lavadoras (PJ)                         | 9.54      | 7.23                      |
| Consumo anual de electricidad lavadoras (GWh)                        | 2,649     | 2,008                     |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh) | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                         | 1,207,398 | 934,662                   |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)               | 189,504   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)   | 27,824    |                           |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO <sub>2</sub> eq)                 | 42,597    | 1,640,332                 |
| Costo por tonelada evitada   | 146.91    | USD/TonCO <sub>2</sub> eq |

## ➤ EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO EN EL SECTOR RESIDENCIAL

| AÑO   | 2015      | 2030                      |
|---|-----------|---------------------------|
| <b>Escenario tendencial</b>   |           |                           |
| Equipos de aire acondicionado (saturación)  | 19.35%    | 26.55%                    |
| Consumo ponderado en equipos de aire acondicionado (KWh/vivienda*año)             | 1861.5    | 1861.5                    |
| Número de equipos de aire acondicionado (Millones)                                | 6.4       | 13.4                      |
| Nuevos equipos de aire acondicionado adquiridos (Millones)                        | 0.69      | 1.61                      |
| Costo unitario de equipo de aire acondicionado (\$)                               | 4200      |                           |
| Costo de equipos de aire acondicionado (M\$)                                      | 2,889     | 6,783                     |
| Costo operación equipos de aire acondicionado escenario tendencial (M\$)          | 11,596    | 24,403                    |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                                   | 14,485    | 31,186                    |
| Consumo anual de electricidad de equipos de aire acondicionado (PJ)               | 42.77     | 90.01                     |
| Consumo anual de electricidad de equipos de aire acondicionado (GWh)              | 11,881    | 25,003                    |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh)              | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                                      | 5,414,828 | 11,640,984                |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)                            | 154,960   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)  | 22,752    |                           |
| <b>Escenario de mitigación</b>  |           |                           |
| Equipos de aire acondicionado (saturación)  | 19.35%    | 26.55%                    |
| Consumo ponderado equipos de aire acondicionado (KWh/vivienda*año)                | 1835.5    | 1204.5                    |
| Número de equipos de aire acondicionado (Millones)                                | 6.4       | 13.4                      |
| Nuevos equipos de aire acondicionado adquiridos modelo 2015 (Millones)            | 0.69      | 0.00                      |
| Nuevos equipos de aire acondicionado adquiridos modelo 2020 (Millones)            | 0.00      | 1.61                      |
| Costo unitario de equipo de aire acondicionado modelo 2015 (\$)                   | 4800      |                           |
| Costo unitario de equipo de aire acondicionado modelo 2020 (\$)                   | 6500      |                           |
| Costo de inversión de equipos de aire acondicionado modelo 2015 (M\$)             | 3,302     | 0                         |
| Costo de inversión de equipos de aire acondicionado modelo 2020 (M\$)             | 0         | 10,497                    |
| Costo total inversión (M\$)   | 3,302     | 10,497                    |
| Costo operación de equipos de aire acondicionado de escenario de mitigación (M\$) | 11,434    | 15,790                    |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                                   | 14,735    | 26,288                    |
| Consumo anual de electricidad de equipos de aire acondicionado (PJ)               | 42.17     | 58.24                     |
| Consumo anual de electricidad de equipos de aire acondicionado (GWh)              | 11,715    | 16,179                    |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh)              | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                                      | 5,339,249 | 7,532,402                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)                            | 148,944   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)  | 21,869    |                           |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO <sub>2</sub> eq)                              | 75,578    | 4,108,583                 |
| Costo por tonelada evitada  | -14.33    | USD/TonCO <sub>2</sub> eq |

➤ **TELEVISORES EN EL SECTOR RESIDENCIAL**

| AÑO  | 2015      | 2030                      |
|--|-----------|---------------------------|
| <b>Escenario tendencial</b>  |           |                           |
| Televisiones (saturación)  | 94.03%    | 98.54%                    |
| Número de Televisiones por hogar                                     | 2.32      | 3.64                      |
| Consumo ponderado en Televisiones por vivienda (KWh/vivienda*año)    | 118.4     | 91.5                      |
| Número de Televisiones existentes (Millones)                         | 72.1      | 181.3                     |
| Nuevos equipos de aire acondicionado adquiridos (Millones)           | 7.25      | 20.95                     |
| Costo unitario de equipo de aire acondicionado (\$)                  | 4000      |                           |
| Costo de inversión en Televisiones (M\$)                             | 28,986    | 83,785                    |
| Costo operación de Televisiones escenario tendencial (M\$)           | 8,325     | 16,191                    |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                      | 37,311    | 99,976                    |
| Consumo anual de electricidad de equipos de aire acondicionado (PJ)  | 30.71     | 59.72                     |
| Consumo anual de electricidad de equipos de aire acondicionado (GWh) | 8,529     | 16,589                    |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh) | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                         | 3,887,377 | 7,723,495                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)               | 497,204   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)   | 73,002    |                           |
| <b>Escenario de mitigación</b>                                       |           |                           |
| Televisiones (saturación)  | 94.03%    | 98.54%                    |
| Número de Televisiones por hogar                                     | 2.32      | 3.64                      |
| Consumo ponderado Televisión (KWh/vivienda*año)                      | 116.5     | 49.3                      |
| Número de Televisiones existentes (Millones)                         | 72.1      | 181.3                     |
| Nuevos equipos Televisión adquiridos modelo 2015 (Millones)          | 7.25      | 0.00                      |
| Nuevos equipos Televisión adquiridos modelo 2020 (Millones)          | 0.00      | 20.95                     |
| Costo unitario de Televisiones modelo 2015 (\$)                      | 4200      |                           |
| Costo unitario de Televisiones modelo 2020 (\$)                      | 5500      |                           |
| Costo de inversión de Televisiones modelo 2015 (M\$)                 | 30,436    | 0                         |
| Costo de inversión de Televisiones modelo 2020 (M\$)                 | 0         | 115,204                   |
| Costo total inversión (M\$)  | 30,436    | 115,204                   |
| Costo operación de equipos de Televisión (M\$)                       | 8,192     | 8,724                     |
| Costo total anual (operación + inversión) (M\$)                      | 38,628    | 123,928                   |
| Consumo anual de electricidad de equipos Televisión (PJ)             | 30.22     | 32.18                     |
| Consumo anual de electricidad de equipos Televisión (GWh)            | 8,394     | 8,938                     |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq (Ton CO <sub>2</sub> eq/KWh) | 455.8     | 465.6                     |
| Emisiones de GEI (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                         | 3,825,689 | 4,161,402                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)               | 581,276   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)   | 85,345    |                           |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO <sub>2</sub> eq)                 | 61,689    | 3,562,093                 |
| Costo por tonelada evitada   | 231       | USD/TonCO <sub>2</sub> eq |

➤ CALENTADORES SOLARES DE AGUA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL

| AÑO   | 2015    | 2030                      |
|---|---------|---------------------------|
| <b>ESCENARIO TENDENCIAL</b>   |         |                           |
| Número de calentadores de gas LP                                      | 85,832  | 12,275,303                |
| Número de calentadores nuevos comprados                               | 85,832  | 2,172,592                 |
| Litros necesarios de Gas LP para 100% de Demanda/Viv                  | 272     | 222                       |
| Litros necesarios de Gas LP para calentamiento de Agua (ML)           | 23      | 2,731                     |
| Costo de calentador de Gas LP (\$)                                    | 3,000   |                           |
| Costo del Gas LP  | 7.81    | \$/L                      |
| Costos de operación (M\$)   | 182     | 21,330                    |
| Costos de inversión (M\$)   | 257     | 6,518                     |
| Costo total (Inversión + operación) (M\$)                             | 440     | 27,848                    |
| Factor de emisión Gas LP (TonCO <sub>2</sub> eq/L)                    | 0.00164 |                           |
| Emissiones de gases de efecto Invernadero (TonCO <sub>2</sub> eq/año) | 38,299  | 4,481,085                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)                | 45054   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)  | 6615    |                           |
| <b>ESCENARIO DE MITIGACIÓN</b>  |         |                           |
| Número de calentadores Solares  | 85,832  | 12,275,303                |
| Número de calentadores Solares nuevos comprados                       | 85,832  | 2,172,592                 |
| Energía proveniente del Gas LP/Calentador (L)                         | 46      | 38                        |
| Energía proveniente del Gas LP/año (ML)                               | 4       | 463                       |
| Costo del Calentador Solar (\$)                                       | 6,500   |                           |
| Costos de operación (M\$)   | 31      | 3,619                     |
| Costos de inversión (M\$)   | 558     | 14,122                    |
| Costo total (inversión + operación) M\$                               | 589     | 17,741                    |
| Factor de emisión Gas LP (TonCO <sub>2</sub> eq/L)                    | 0.00164 |                           |
| Emissiones de gases de efecto Invernadero (TonCO <sub>2</sub> eq/año) | 6,499   | 760,381                   |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)                | 31157   |                           |
| Inversión anualizada (M\$)  | 4575    |                           |
|   |         |                           |
| Emissiones evitadas (Toneladas de CO <sub>2</sub> eq)                 | 31,800  | 3,720,704                 |
| Costo por tonelada evitada  | -37     | USD/TonCO <sub>2</sub> eq |

➤ **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL**

| AÑO  | 2015      | 2030         |
|--|-----------|--------------|
| <b>ESCENARIO TENDENCIAL</b>  |           |              |
| Número total de sistemas fotovoltaicos no instalados                 | 1,000,000 | 2,958,877    |
| Número de sistemas fotovoltaicos nuevos no comprados                 | 1,000,000 | 206,433      |
| KWh necesarios para 100% de Demanda de electricidad/Viv              | 1,773     | 1,773        |
| Costos de operación o de electricidad sin sistema fotovoltaico (M\$) | 6,005     | 17,769       |
| Costos de inversión (M\$)  | 0         | 0            |
| Costo de electricidad (\$/KWh)                                       | 3.387     |              |
| Costo total (Inversión + operación)                                  | 6,005     | 17,769       |
| Factor de emisión (TonCO2eq/GWh)                                     | 455.8     | 465.6        |
| Emisiones en el sector tendencial (Ton CO2eq)                        | 808,096   | 2,442,510    |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)               | 71,914    |              |
| Inversión anualizada (M\$)   | 10,559    |              |
| <b>ESCENARIO DE MITIGACIÓN</b>                                       |           |              |
| Número de sistemas fotovoltaicos                                     | 1,000,000 | 2,958,877    |
| Número de sistemas fotovoltaicos nuevos comprados                    | 1,000,000 | 206,433      |
| Energía proveniente de paneles fotovoltaicos (KWh/(viv*año))         | 1,478     | 1,478        |
| Satisfacción de la demanda con Módulos Fotovoltaicos                 | 83%       | 83%          |
| Energía proveniente de red eléctrica (KWh/(viv*año))                 | 295       | 295          |
| Costo del sistema fotovoltaico (\$)                                  | 28,000    |              |
| Costo de electricidad (\$/KWh)                                       | 3.387     |              |
| Costos de operación (M\$)  | 1,000     | 2,960        |
| Costos de inversión (M\$)  | 28,000    | 5,780        |
| Costo total (inversión + operación) M\$                              | 29,000    | 8,740        |
| Factor de emisión (TonCO2eq/GWh)                                     | 455.8     | 465.6        |
| Emisiones en el sector tendencial (Ton CO2eq)                        | 134,617   | 406,886      |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)               | 61,420    |              |
| Inversión anualizada (M\$)   | 9,018     |              |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO2eq)                              | 673,479   | 2,035,624    |
| Costo por tonelada evitada   | -50.46    | USD/TonCO2eq |

## ➤ VEHÍCULOS HÍBRIDOS

| ESCENARIO TENDENCIAL (Civic Sedán Honda)                     |         |                         |
|--|---------|-------------------------|
| Distancia recorrida anual                                    | 15000   | Km                      |
| Rendimiento combinado de combustible                         | 12      | Km/L                    |
| Consumo de combustible anual                                 | 1250    | L/(Vehículo*año)        |
| Poder calorífico Gasolina                                    | 5122    | MJ/BBL                  |
| Consumo de energía anual                                     | 40,275  | MJ/(vehículo*año)       |
| Precio de la gasolina Premium                                | 14.39   | \$/L                    |
| Costo anual de combustible                                   | 17,988  | \$/ (Vehículo*año)      |
| Factor de emisión  | 243     | gCO2eq/Km               |
| Emisión anual  | 3.645   | TonCO2eq/(vehículo*año) |
| Costo del Vehículo   | 305,000 | \$/vehículo             |
| AÑO  | 2015    | 2030                    |
| Número de autos  | 23,906  | 570,774                 |
| Número de autos nuevos comprados                             | 23,906  | 63,543                  |
| Costo de inversión (M\$)                                     | 7,291   | 19,381                  |
| Costo operación autos escenario tendencial (M\$)             | 430     | 10,267                  |
| Costo total vehículos convencionales (inversión + operación) | 7,721   | 29,647                  |
| Energía consumida anual Gasolina (TJ)                        | 963     | 22,988                  |
| Emisión anual (TonCO2eq/año)                                 | 87,138  | 2,080,472               |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)       |         | 95,776                  |
| Inversión anualizada (M\$)                                   |         | 14,062                  |
| ESCENARIO DE MITIGACIÓN (Honda CR-Z)                         |         |                         |
| Distancia recorrida anual                                    | 15000   | Km                      |
| Rendimiento combinado de combustible                         | 21.2    | Km/L                    |
| Consumo de combustible anual                                 | 707.5   | L/(Vehículo*año)        |
| Poder calorífico Gasolina                                    | 5122    | MJ/BBL                  |
| Consumo de energía anual                                     | 22797   | MJ/(vehículo*año)       |
| Precio de la gasolina Premium                                | 14.39   | \$/L                    |
| Costo anual de combustible                                   | 10,182  | \$/ (Vehículo*año)      |
| Factor de emisión  | 147     | gCO2eq/Km               |
| Emisión anual  | 2.205   | TonCO2eq/(vehículo*año) |
| Costo del Vehículo   | 344,900 | \$/vehículo             |
| AÑO  | 2015    | 2030                    |
| Número de autos  | 23,906  | 570,774                 |
| Número de autos nuevos comprados                             | 23,906  | 63,543                  |
| Costo de inversión (M\$)                                     | 8,245   | 21,916                  |
| Costo operación autos escenario MITIGACIÓN (M\$)             | 243     | 5,811                   |
| Costo total AUTOS (inversión + operación)                    | 8,489   | 27,727                  |
| Energía consumida anual Gasolina (TJ)                        | 545     | 13,012                  |
| Emisión anual (TonCO2eq/año)                                 | 52,713  | 1,258,557               |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)       |         | 94,795                  |
| Inversión anualizada (M\$)                                   |         | 13,918                  |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO2eq)                      | 34,425  | 821,915                 |
| Costo por tonelada evitada                                   | -11.68  | USD/TonCO2eq            |

## ➤ VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

| ESCENARIO TENDENCIAL (Civic Sedan Honda)                     |         |                         |
|--|---------|-------------------------|
| Distancia recorrida anual                                    | 15000   | Km                      |
| Rendimiento combinado de combustible                         | 12      | Km/L                    |
| Consumo de combustible anual                                 | 1250    | L/(Vehículo*año)        |
| Poder calorífico Gasolina                                    | 5122    | MJ/BBL                  |
| Consumo de energía anual                                     | 40,275  | MJ/(vehículo*año)       |
| Precio de la gasolina Premium                                | 14.39   | \$/L                    |
| Costo anual de combustible                                   | 17,988  | \$/ (Vehículo*año)      |
| Factor de emisión  | 243     | gCO2eq/Km               |
| Emisión anual  | 3.645   | TonCO2eq/(vehículo*año) |
| Costo del Vehículo   | 281,900 | \$/vehículo             |
| AÑO  | 2015    | 2030                    |
| Número de autos  | 23,906  | 570,774                 |
| Número de autos nuevos comprados                             | 23,906  | 63,543                  |
| Costo de inversión (M\$)                                     | 6,739   | 17,913                  |
| Costo operación autos escenario tendencial (M\$)             | 430     | 10,267                  |
| Costo total vehículos convencionales (inversión + operación) | 7,169   | 28,180                  |
| Energía consumida anual Gasolina (TJ)                        | 963     | 22,988                  |
| Emisión anual (TonCO2eq/año)                                 | 87,138  | 2,080,472               |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)       |         | 90,334                  |
| Inversión anualizada (M\$)                                   |         | 13,263                  |
| ESCENARIO DE MITIGACIÓN (Nissan Leaf)                        |         |                         |
| Distancia recorrida anual                                    | 15000   | Km                      |
| Rendimiento combinado de combustible                         | 6.67    | Km/KWh                  |
| Consumo de combustible anual                                 | 2250.0  | KWh/(Vehículo*año)      |
| Consumo de energía anual                                     | 8.10    | GJ/(vehículo*año)       |
| Precio del KWh   | 3.387   | \$/KWh                  |
| Costo anual de combustible                                   | 7,621   | \$/ (Vehículo*año)      |
| Costo del Vehículo   | 548,500 | \$/vehículo             |
| AÑO  | 2015    | 2030                    |
| Número de autos  | 23,906  | 570,774                 |
| Número de autos nuevos comprados                             | 23,906  | 63,543                  |
| Costo de inversión (M\$)                                     | 13,113  | 34,853                  |
| Costo operación autos escenario MITIGACIÓN (M\$)             | 182     | 4,350                   |
| Costo total AUTOS (inversión + operación)                    | 13,295  | 39,203                  |
| Energía consumida anual electricidad (TJ)                    | 194     | 4,623                   |
| Factor de emisión (TonCO2eq/GWh)                             | 456     | 466                     |
| Emisión anual (TonCO2eq/año)                                 | 24,515  | 597,912                 |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)       |         | 139,356                 |
| Inversión anualizada (M\$)                                   |         | 20,461                  |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO2eq)                      | 62,623  | 1,482,560               |
| Costo por tonelada evitada                                   | 323.7   | USD/TonCO2eq            |

## ➤ CO-PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE NEUMÁTICOS

| ESCENARIO TENDENCIAL SIN COPROCESAMIENTO DE CEMENTO    |             |                    |
|--|-------------|--------------------|
| Capacidad de producción                                | 1,800,000   | Ton/año            |
| Razón de producción de cemento/clinker                 | 1.10        | TonCemento/clinker |
| Consumo energético por tonelada de clinker             | 843         | Kcal/Kgclinker     |
| Porcentaje de combustible alternativo usado            | 0           |                    |
| Cantidad de energía sustituible                        | 1           | PJ                 |
| Poder calorífico del coque de petróleo                 | 31,758      | MJ/Ton             |
| Consumo de coque de petróleo anual                     | 36,365      | Ton/año            |
| Costo del coque de petróleo                            | 90          | USD/Ton            |
| Precio del combustible anual                           | 57          | M\$/año            |
| Factor de emisión del coque de petróleo                | 97,754      | KgCO2eq/TJ         |
| Costo de inversión                                     | 0           | MUSD               |
| Costo de inversión total                               | 0           | M\$                |
| Costo de operación por combustible                     | 57          | M\$                |
| Emisiones de gases de efecto invernadero               | 112,894     | TonCO2eq/año       |
| AÑO  | 2015        | 2030               |
| Número de cementeras sin coprocesamiento               | 1           | 6                  |
| Costos de operación (M\$)                              | 57          | 344                |
| Costos de inversión (M\$)                              | 0           | 0                  |
| Costo total (Inversión + operación)                    | 57          | 344                |
| Energía anual consumida (TJ)                           | 1,155       | 6,929              |
| Emisiones anuales (TonCO2eq/año)                       | 112,894     | 677,363            |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$) |             | 1,090              |
| Inversión anualizada (M\$)                             |             | 160                |
| ESCENARIO DE MITIGACIÓN CO PROCESAMIENTO DE NEUMÁTICOS |             |                    |
| Capacidad de producción                                | 1,800,000.0 | Ton/año            |
| Razón de producción de cemento/clinker                 | 1.1         | TonCemento/clinker |
| Consumo energético por tonelada de clinker             | 843.0       | Kcal/Kgclinker     |
| Porcentaje de combustible alternativo usado            | 0.2         |                    |
| Cantidad de energía sustituible                        | 1.15        | PJ                 |
| Poder calorífico de los neumáticos                     | 27,209.0    | MJ/Ton             |
| Consumo de neumáticos al año                           | 42,444.8    | Ton/año            |
| Costo de los neumáticos                                | 18.9        | USD/Ton            |
| Precio del combustible anual                           | 14.0        | M\$/año            |
| Factor de emisión de neumáticos                        | 59,948.0    | KgCO2eq/TJ         |
| Costo de inversión                                     | 12.0        | MUSD               |
| Costo de inversión total                               | 210.0       | M\$                |
| Costo de operación por combustible                     | 14.0        | M\$                |
| Emisiones de gases de efecto invernadero               | 69,232.7    | TonCO2eq/año       |
| AÑO  | 2015        | 2030               |
| Número de cementeras con co-procesamiento              | 1           | 6                  |
| Costos de operación (M\$)                              | 14          | 84                 |
| Costos de inversión (M\$)                              | 210         | 210                |
| Costo total (inversión + operación)                    | 224         | 294                |
| Emisiones en el sector de mitigación (Ton CO2eq)       | 69,233      | 415,396            |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$) |             | 900                |
| Inversión anualizada (M\$)                             |             | 132                |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO2eq)                | 43,661      | 261,967            |
| Costo por tonelada evitada                             | -6.08       | USD/TonCO2eq       |

➤ **GRANJAS SOLARES**

| Escenario TENDENCIAL (Centrales de Diesel)             |               |                        |
|--|---------------|------------------------|
| Capacidad instalada Central de Diesel                  | 30            | MW                     |
| Factor de planta Central de Diesel                     | 25%           |                        |
| Poder Calorífico del Diesel                            | 5715          | MJ/BBL                 |
| Eficiencia central de Diesel                           | 32%           |                        |
| Costo del Diesel                                       | 14.2          | \$/L                   |
| Generación anual                                       | 65.7          | GWh/año                |
| Consumo de energía                                     | 739.125       | TJ/año                 |
| Consumo de combustible anual                           | 20.56         | ML/año                 |
| Costos anuales de operación por combustibles           | 291.9         | M\$/año                |
| Factor de emisión Diesel                               | 2.673         | KgCO2eq/L              |
| Costo de inversión                                     | 350,000       | USD/MW                 |
| Costo de inversión total                               | 157.5         | M\$                    |
| AÑO  | 2015          | 2030                   |
| Número de centrales de diesel                          | 1             | 6                      |
| Número de centrales de diesel nuevas instaladas        | 1             | 1                      |
| Costos de operación (M\$)                              | 292           | 1,752                  |
| Costos de inversión (M\$)                              | 158           | 158                    |
| Costo total (Inversión + operación)                    | 449           | 1,909                  |
| Energía anual consumida (TJ)                           | 739           | 4,435                  |
| Emisiones anuales (TonCO2eq/año)                       | 54,956        | 329,737                |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$) | 6,033         |                        |
| Inversión anualizada (M\$)                             | 886           |                        |
| ESCENARIO DE MITIGACIÓN (Granjas Solares)              |               |                        |
| Radiación solar promedio en Sonora                     | 6             | KWh/m <sup>2</sup> día |
| Superficie promedio                                    | 1.52          | m <sup>2</sup> /panel  |
| Número de paneles por sistema                          | 125,000       |                        |
| Potencia de los paneles propuesta                      | 240           | W                      |
| Potencia promedio del sistema propuesto                | 30,000,000    | W                      |
| Horas de insolación diaria promedio anual              | 6             | h/día                  |
| Eficiencia promedio de los paneles solares             | 16%           |                        |
| Eficiencia promedio despues de paneles                 | 88.5%         |                        |
| Producción de electricidad diaria                      | 159,300       | KWh/día                |
| Emisiones de CO2 (TonCO2eq/KWh)                        | 0             |                        |
| Producción de electricidad anual                       | 58,144,500    | KWh/año                |
| Costo de operación                                     | 0.770         | \$/KWh                 |
| Costo por sistema fotovoltaico (\$)                    | 1,575,000,000 |                        |
| AÑO  | 2015          | 2030                   |
| Número de Granjas Solares                              | 1             | 6                      |
| Número de nuevas granjas solares instaladas            | 1             | 1                      |
| Costos de operación (M\$)                              | -45           | -268                   |
| Costos de inversión (M\$)                              | 1,575         | 1,575                  |
| Costo total (inversión + operación) M\$                | 1,530         | 1,307                  |
| Emisiones en el sector de mitigación (Ton CO2eq)       | 0             | 0                      |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$) | 3902          |                        |
| Inversión anualizada (M\$)                             | 573           |                        |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO2eq)                | 54,956        | 329,737                |
| Costo por tonelada evitada                             | -63.26        | USD/TonCO2eq           |

## ➤ BIOGAS DE RELLENOS SANITARIOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

| Escenario TENDENCIAL (Centrales de Diesel)                        |            |                       |
|---|------------|-----------------------|
| Capacidad instalada Central de Diesel                             | 15         | MW                    |
| Factor de planta Central de Diesel                                | 25%        |                       |
| Poder Calorífico del Diesel                                       | 5715       | MJ/BBL                |
| Eficiencia central de Diesel                                      | 32%        |                       |
| Costo del Diesel  | 14.2       | \$/L                  |
| Generación anual  | 32.85      | GWh/año               |
| Consumo de energía  | 369.5625   | TJ/año                |
| Consumo de combustible anual                                      | 10.28      | ML/año                |
| Costos anuales de operación por combustibles                      | 146.0      | M\$/año               |
| Factor de emisión Diesel  | 2.673      | KgCO2eq/L             |
| Costo de inversión  | 350,000    | USD/MW                |
| Costo de inversión total  | 91.875     | M\$                   |
| Costo de operación por combustible                                | 146        | M\$                   |
| Costo de la electricidad  | 0.77       | \$/KWh                |
| Ingreso por venta de electricidad                                 | 25.278075  | M\$/año               |
| AÑO   | 2015       | 2030                  |
| Número de centrales de diesel                                     | 1          | 5                     |
| Costos de operación (M\$)   | 146        | 730                   |
| Costos de inversión (M\$)   | 92         | 0                     |
| Costo total (Inversión + operación)-Ingreso por venta de energía  | 213        | 603                   |
| Energía anual consumida (TJ)                                      | 370        | 1,848                 |
| Emisiones anuales (TonCO2eq/año)                                  | 27,478     | 137,390               |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)            | 2,536      |                       |
| Inversión anualizada (M\$)  | 372        |                       |
| ESCENARIO DE MITIGACIÓN (Rellenos Sanitarios)                     |            |                       |
| Capacidad instalada de la central                                 | 15         | MW                    |
| Capacidad de tratamiento de residuos sólidos                      | 57.4       | Ton/día=              |
| Producción de biogás  | 120,000    | Nm <sup>3</sup> /día= |
| Masa generada de Metano   | 45         | Ton/día=              |
| Eficiencia térmica promedio                                       | 36%        |                       |
| Poder Calorífico del Biogás                                       | 50,045     | KJ/Kg                 |
| Factor de planta  | 1          |                       |
| Generación eléctrica  | 83         | GWh/año               |
| Costo de la energía   | 0.77       | \$/KWh                |
| Producción de electricidad diaria                                 | 227,635    | KWh/día               |
| Factor de emisión de CO2  | 0.0027     | TonCO2eq/TonCH4       |
| Producción de electricidad anual                                  | 83,086,661 | KWh/año               |
| Ingreso por venta de electricidad                                 | 64         | M\$/año               |
| Costos de operación   | 1.3        | \$/KWh                |
| Costos de operación anuales                                       | 108        | M\$/año               |
| Costos de inversión (reellenos sanitarios + Generación eléctrica) | 2          | MUSD/MW               |
| Inversión total   | 639        | M\$                   |
| Precio del Certificado de Emisiones Reducidas                     | 152        | \$/Ton                |
| Emisiones evitadas  | 415,014    | Ton/año               |
| Ingresos por venta de CER   | 63.1       | M\$/año               |
| Ingreso anual   | 63.9       | M\$/año               |
| AÑO   | 2015       | 2030                  |
| Número de Rellenos Sanitarios en Operación                        | 0          | 5                     |
| Costos de operación (M\$)   | 0          | 540                   |
| Costos de inversión (M\$)   | 639        | 0                     |
| Costo total (inversión + operación) - Ingresos M\$                | 639        | -95                   |
| Emisiones en el sector de mitigación (Ton CO2eq)                  | 0          | 227                   |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)            | 1600       |                       |
| Inversión anualizada (M\$)  | 235        |                       |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO2eq)                           | 27,478     | 137,163               |
| Costo por tonelada evitada  | -57.27     | USD/TonCO2eq          |

➤ **USO DE BIOGAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA**

| Escenario TENDENCIAL (Centrales de Diesel)  |            |  |
|---|------------|--|
| Capacidad instalada Central de Diesel para generar electricidad                     | 2.81       | MW                                       |
| Capacidad de generación de energía térmica  | 1.65       | MW                                       |
| Factor de planta Central de Diesel  | 0.25       |  |
| Poder Calorífico del Diesel   | 5715.00    | MJ/BBL                                   |
| Eficiencia calentador de agua   | 0.90       |  |
| Eficiencia central de Diesel  | 0.32       |  |
| Costo del Diesel  | 14.20      | \$/L                                     |
| Generación anual  | 6.16       | GWh/año                                  |
| Consumo de energía  | 127.11     | TJ/año                                   |
| Consumo de combustible en generación de energía térmica                             | 1.61       | ML/año                                   |
| Consumo de combustible anual generación eléctrica                                   | 1.93       | ML/año                                   |
| Costos anuales de operación por combustibles  | 50.21      | M\$/año                                  |
| Factor de emisión Diesel  | 2.67       | KgCO <sub>2</sub> eq/L                   |
| Costo de inversión + equipo calentador de agua                                      | 450000.00  | USD/MW                                   |
| Costo de inversión total  | 22.14      | M\$                                      |
| Costo de operación por combustible  | 50.21      | M\$                                      |
| Costo de la electricidad  | 0.77       | \$/KWh                                   |
| Ingreso por venta de electricidad   | 4.74       | M\$/año                                  |
| AÑO   | 2015       | 2030                                     |
| Número de centrales de diesel   | 1          | 6  |
| Costos de operación (M\$)   | 50         | 301                                      |
| Costos de inversión (M\$)   | 22         | 22                                       |
| Costo total (Inversión + operación)-Ingreso por venta de energía                    | 68         | 295                                      |
| Energía anual consumida (TJ)  | 127        | 763                                      |
| Emisiones anuales (TonCO <sub>2</sub> eq/año)                                       | 9,451      | 56,705                                   |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)                              | 932        |  |
| Inversión anualizada (M\$)  | 137        |  |
| ESCENARIO DE MITIGACIÓN (Plantas de tratamiento de Aguas Residuales)                |            |  |
| Capacidad instalada de la central   | 2.811      | MW                                       |
| Capacidad de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales            | 2250       | L/s                                      |
| Producción de biogás  | 25,482     | Nm <sup>3</sup> /día=                    |
| Masa generada de Biogás   | 27         | Ton/día=                                 |
| Composición de metano en el biogás (% masa)   | 65%        |  |
| Masa generada de Metano   | 17         | Ton/día=                                 |
| Eficiencia térmica promedio   | 26%        |  |
| Poder Calorífico del Biogás   | 50,045     | KJ/Kg                                    |
| Factor de planta  | 95%        |  |
| Generación eléctrica  | 23.34      | GWh/año                                  |
| Costo de la energía   | 0.77       | \$/KWh                                   |
| Producción de electricidad diaria   | 63,943     | KWh/día                                  |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub>  | 0.003      | TonCO <sub>2</sub> eq/TonCH <sub>4</sub> |
| Producción de electricidad anual  | 23,339,221 | KWh/año                                  |
| Ingreso por venta de electricidad   | 18.0       | M\$/año                                  |
| Costos de operación   | 0.640      | \$/m <sup>3</sup>                        |
| Costos de operación anuales   | 45         | M\$/año                                  |
| Costos de inversión (Planta de tratamiento + sistema de generación de electricidad) | 17.46      | MUSD/MW                                  |
| Inversión total   | 859        | M\$                                      |
| Precio del Certificado de Emisiones Reducidas                                       | 152        | \$/Ton                                   |
| Emisiones evitadas  | 159,272    | Ton/año                                  |
| Ingresos por venta de CER   | 24         | M\$/año                                  |
| Ingreso anual   | 3.2        | M\$/año                                  |
| AÑO   | 2015       | 2030                                     |
| Número de plantas de tratamiento de Aguas Residuales en operación                   | 1          | 6  |
| Costos de operación (M\$)   | 3          | 19                                       |
| Costos de inversión (M\$)   | 859        | 859                                      |
| Costo total (inversión + operación) - Ingresos M\$                                  | 862        | 878                                      |
| Emisiones en el sector de mitigación (Ton CO <sub>2</sub> eq)                       | 17         | 105                                      |
| Valor presente de costos (inversión + operación) (M\$)                              | 2654       |  |
| Inversión anualizada (M\$)  | 390        |  |
| Emisiones evitadas (Toneladas de CO <sub>2</sub> eq)                                | 9,433      | 56,600                                   |
| Costo por tonelada evitada  | 255.23     | USD/TonCO <sub>2</sub> eq                |

## ANEXO 3

### DATOS TÉCNICOS DE LAS PRINCIPALES CENTRALES ELÉCTRICAS EN OPERACIÓN DEL SECTOR PÚBLICO EN EL AÑO 2011

Fuente: Elaboración propia con datos de: (SENER, Prospectiva del Sector Eléctrico 2011-2025, 2011), (POISE, 2012), (SENER, Prospectiva del sector eléctrico 2012-2026, 2012). Nota: En el caso de la tecnología los significados son: CAR: Carboeléctrica; CC: Ciclo combinado; EOL: Eoloeléctrica; GEO: Geotermoeléctrica; HID: Hidroeléctrica; TC: Térmica convencional; TG: Turbogás; CC PIE: Ciclo combinado de PIE; CI: Combustión interna; NGL: Nueva Generación Limpia. En el caso del combustible los significados son: K: Carbón; DIE: Diesel; GAS: Gas Natural; COM: combustóleo; UO2: Uranio enriquecido; n.a.: no aplica.

| NOMBRE DE LA CENTRAL                | AÑO DE INICIO DE OPERACIONES | ENTIDAD FEDERATIVA | TECNOLOGÍA | COMBUSTIBLE | CAPACIDAD EFECTIVA (MW) | GENERACIÓN BRUTA (GWh) | FACTOR DE PLANTA (%) |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Río Escondido (José López Portillo) | 1991                         | Coahuila           | CAR        | K           | 1,200                   | 8,925                  | 85                   |
| Carbón II                           | 1993                         | Coahuila           | CAR        | K           | 1,400                   | 9,234                  | 75                   |
| Petalcalco (Plutarco Elías Calles)  | 2010                         | Guerrero           | CAR        | K           | 678                     | 3,760                  | 63                   |
| Presidente Juarez                   | 2002                         | BC                 | CC         | GAS         | 595                     | 2,689                  | 52                   |
| Hermosillo                          | 2006                         | Sonora             | CC         | GAS         | 227                     | 1,397                  | 70                   |
| Río Bravo (Emilio Portes Gil)       | 2009                         | Tamaulipas         | CC         | GAS         | 261                     | 969                    | 42                   |
| Samalayuca II                       | 1999                         | Chihuahua          | CC         | GAS         | 522                     | 4,085                  | 89                   |
| Huinalá I y II                      | 2001                         | Nuevo León         | CC         | GAS         | 700                     | 4,268                  | 70                   |
| Gómez Palacio                       | 1991                         | Durango            | CC         | GAS         | 240                     | 1,048                  | 50                   |
| El Encino (Chihuahua II)            | 2002                         | Chihuahua          | CC         | GAS         | 619                     | 4,816                  | 89                   |
| El Sauz                             | 1991                         | Querétaro          | CC         | GAS         | 601                     | 2,813                  | 53                   |
| Tula (Francisco Pérez Ríos)         | 1991                         | Hidalgo            | CC         | GAS         | 489                     | 2,382                  | 56                   |
| Valle de México (Incluye 3 U's TG)  | 2004                         | Estado de México   | CC         | GAS         | 549                     | 2,756                  | 57                   |
| San Lorenzo                         | 2009                         | Puebla             | CC         | GAS         | 382                     | 2,932                  | 88                   |
| Valladolid (Felipe Carrillo Puerto) | 1995                         | Yucatán            | CC         | GAS         | 220                     | 584                    | 30                   |
| Dos Bocas                           | 1991                         | Veracruz           | CC         | GAS         | 452                     | 1,529                  | 39                   |
| San Carlos (Agustín Olachea A.      | 1991                         | BCS                | CI         | COM         | 20                      | 129                    | 74                   |
| San Carlos (Agustín Olachea A.      | 1991                         | BCS                | CI         | DIE         | 84                      | 542                    | 74                   |
| Baja California Sur I               | 2005                         | BCS                | CI         | COM         | 4                       | 19                     | 55                   |
| Baja California Sur I               | 2005                         | BCS                | CI         | DIE         | 73                      | 353                    | 55                   |
| Petalcalco (Plutarco Elías Calles)  | 1994                         | Guerrero           | DUAL       | COM         | 700                     | 3,882                  | 63                   |
| Petalcalco (Plutarco Elías Calles)  | 1994                         | Guerrero           | DUAL       | K           | 1,400                   | 7,763                  | 63                   |
| La Venta                            | 1995                         | Oaxaca             | EOL        | n.a.        | 85                      | 104                    | 14                   |
| Cerro Prieto                        | 1991                         | BC                 | GEO        | n.a.        | 645                     | 4,525                  | 80                   |
| Tres Vírgenes                       | 2002                         | BCS                | GEO        | n.a.        | 10                      | 47                     | 54                   |
| Azufres                             | 1991                         | Michoacán          | GEO        | n.a.        | 192                     | 1,599                  | 95                   |
| Humeros                             | 1991                         | Puebla             | GEO        | n.a.        | 40                      | 336                    | 96                   |
| El Novillo (Plutarco Elías Calles)  | 1991                         | Sonora             | HID        | n.a.        | 135                     | 435                    | 36                   |
| Comedero (Raúl J. Marsal)           | 1991                         | Sinaloa            | HID        | n.a.        | 100                     | 331                    | 38                   |

| NOMBRE DE LA CENTRAL                  | AÑO DE INICIO DE OPERACIONES | ENTIDAD FEDERATIVA | TECNOLOGÍA | COMBUSTIBLE | CAPACIDAD EFECTIVA (MW) | GENERACIÓN BRUTA (GWh) | FACTOR DE PLANTA (%) |
|---------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Huites (Luis Donaldo Colosio)         | 1997                         | Sinaloa            | HID        | n.a.        | 422                     | 550                    | 15                   |
| Bacurato                              | 1991                         | Sinaloa            | HID        | n.a.        | 92                      | 233                    | 29                   |
| El Fuerte (27 de Septiembre)          | 1991                         | Sinaloa            | HID        | n.a.        | 59                      | 326                    | 63                   |
| Humaya                                | 1991                         | Sinaloa            | HID        | n.a.        | 90                      | 240                    | 30                   |
| La Amistad                            | 1991                         | Coahuila           | HID        | n.a.        | 66                      | 82                     | 14                   |
| Villita (José María Morelos)          | 1991                         | Michoacán          | HID        | n.a.        | 300                     | 1,324                  | 50                   |
| Aguamilpa                             | 1995                         | Nayarit            | HID        | n.a.        | 960                     | 1,195                  | 14                   |
| Aguaprieta (Valentín Gómez Farías)    | 1991                         | Jalisco            | HID        | n.a.        | 240                     | 223                    | 11                   |
| Cupatitzio                            | 1991                         | Michoacán          | HID        | n.a.        | 72                      | 339                    | 53                   |
| Cóbano                                | 1991                         | Michoacán          | HID        | n.a.        | 52                      | 177                    | 39                   |
| Lerma (Tepuxtepec)                    | 1991                         | Michoacán          | HID        | n.a.        | 74                      | 202                    | 31                   |
| Santa Rosa (Manuel M. Diéguez)        | 1991                         | Jalisco            | HID        | n.a.        | 61                      | 138                    | 26                   |
| Colimilla                             | 1991                         | Jalisco            | HID        | n.a.        | 51                      | 49                     | 11                   |
| El Cajón (Leonardo Rodríguez Alcaine) | 2007                         | Nayarit            | HID        | n.a.        | 750                     | 604                    | 9                    |
| Necaxa                                | 1991                         | Puebla             | HID        | n.a.        | 109                     | 383                    | 40                   |
| Zimapán (Fernando Hiriart Balderrama) | 1991                         | Hidalgo            | HID        | n.a.        | 292                     | 1,375                  | 54                   |
| Mazatepec                             | 1991                         | Puebla             | HID        | n.a.        | 220                     | 678                    | 35                   |
| Patla                                 | 1991                         | Puebla             | HID        | n.a.        | 37                      | 139                    | 43                   |
| Angostura (Belisario Domínguez)       | 1991                         | Chiapas            | HID        | n.a.        | 900                     | 3,588                  | 46                   |
| Chicoasén (Manuel Moreno Torres)      | 1991                         | Chiapas            | HID        | n.a.        | 2,400                   | 8,155                  | 39                   |
| Malpaso                               | 1991                         | Chiapas            | HID        | n.a.        | 1,080                   | 4,974                  | 53                   |
| Peñitas                               | 1991                         | Chiapas            | HID        | n.a.        | 420                     | 2,278                  | 62                   |
| Temascal                              | 1991                         | Oaxaca             | HID        | n.a.        | 354                     | 1,387                  | 45                   |
| Caracol                               | 1991                         | Guerrero           | HID        | n.a.        | 600                     | 1,252                  | 24                   |
| Infiernillo                           | 1991                         | Guerrero           | HID        | n.a.        | 1,160                   | 3,566                  | 35                   |
| Laguna Verde                          | 1991                         | Veracruz           | NUC        | UO2         | 1,365                   | 10,089                 | 84                   |
| Puerto Libertad                       | 1991                         | Sonora             | TC         | COM         | 632                     | 3,503                  | 63                   |
| Guaymas II (Carlos Rodríguez Rivero)  | 1991                         | Sonora             | TC         | COM         | 484                     | 1,298                  | 31                   |
| Mazatlán II (José Aceves Pozos)       | 1991                         | Sinaloa            | TC         | COM         | 616                     | 2,434                  | 45                   |
| Presidente Juarez                     | 1991                         | BC                 | TC         | GAS         | 498                     | 2,251                  | 52                   |
| Topolobampo II (Juan de Dios Bátiz)   | 1991                         | Sinaloa            | TC         | COM         | 320                     | 1,912                  | 68                   |
| Punta Prieta II                       | 1991                         | BCS                | TC         | COM         | 113                     | 651                    | 66                   |
| Altamira                              | 1991                         | Tamaulipas         | TC         | COM         | 200                     | 674                    | 38                   |
| Altamira                              | 1991                         | Tamaulipas         | TC         | GAS         | 600                     | 2,023                  | 38                   |
| Río Bravo (Emilio Portes Gil)         | 1991                         | Tamaulipas         | TC         | COM         | 250                     | 929                    | 42                   |
| Francisco Villa                       | 1991                         | Chihuahua          | TC         | COM         | 100                     | 366                    | 42                   |
| Francisco Villa                       | 1991                         | Chihuahua          | TC         | GAS         | 200                     | 732                    | 42                   |
| Samalayuca                            | 1991                         | Chihuahua          | TC         | COM         | 79                      | 226                    | 33                   |

| NOMBRE DE LA CENTRAL                       | AÑO DE INICIO DE OPERACIONES | ENTIDAD FEDERATIVA | TECNOLOGÍA | COMBUSTIBLE | CAPACIDAD EFECTIVA (MW) | GENERACIÓN BRUTA (GWh) | FACTOR DE PLANTA (%) |
|--|------------------------------|--------------------|------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Samalayuca                                 | 1991                         | Chihuahua          | TC         | GAS         | 237                     | 679                    | 33                   |
| Lerdo (Guadalupe Victoria)                 | 1991                         | Durango            | TC         | COM         | 320                     | 876                    | 31                   |
| Manzanillo (Manuel Álvarez Moreno)         | 1991                         | Colima             | TC         | COM         | 1,200                   | 4,198                  | 40                   |
| Manzanillo II                              | 1991                         | Colima             | TC         | COM         | 700                     | 3,451                  | 56                   |
| Salamanca                                  | 1991                         | Guanajuato         | TC         | COM         | 150                     | 269                    | 21                   |
| Salamanca                                  | 1991                         | Guanajuato         | TC         | GAS         | 400                     | 718                    | 21                   |
| Villa de Reyes                             | 1991                         | San Luis Potosí    | TC         | COM         | 700                     | 3,255                  | 53                   |
| Tula (Francisco Pérez Ríos)                | 1991                         | Hidalgo            | TC         | COM         | 1,606                   | 7,822                  | 56                   |
| Valle de México (Incluye 3 U's TG)         | 1991                         | Estado de México   | TC         | GAS         | 350                     | 1,757                  | 57                   |
| Jorge Luque (Incluye 4 U's de TG Lechería) | 1991                         | Estado de México   | TC         | GAS         | 224                     | 0                      | 0                    |
| Tuxpan (Adolfo López Mateos)               | 1991                         | Veracruz           | TC         | COM         | 1,800                   | 5,676                  | 36                   |
| Lerma (Campeche)                           | 1991                         | Campeche           | TC         | COM         | 150                     | 429                    | 33                   |
| Mérida II                                  | 1991                         | Yucatán            | TC         | COM         | 132                     | 547                    | 47                   |
| Valladolid (Felipe Carrillo Puerto)        | 1994                         | Yucatán            | TC         | COM         | 75                      | 199                    | 30                   |
| Poza Rica                                  | 1991                         | Veracruz           | TC         | COM         | 117                     | 201                    | 20                   |
| Nachi-Cocom                                | 1991                         | Yucatán            | TC         | COM         | 20                      | 1                      | 1                    |
| Huinalá I y II                             | 1999                         | Nuevo León         | TG         | GAS         | 278                     | 1,695                  | 70                   |
| Valle de México (Incluye 3 U's TG)         | 1991                         | Estado de México   | TG         | GAS         | 100                     | 502                    | 57                   |
| Tuxpan (Adolfo López Mateos)               | 2004                         | Veracruz           | TG         | GAS         | 463                     | 1,460                  | 36                   |
| Mérida II                                  | 1991                         | Yucatán            | TG         | GAS         | 66                      | 273                    | 47                   |
| Nachi-Cocom                                | 1991                         | Yucatán            | TG         | DIE         | 10                      | 1                      | 1                    |
| Hermosillo PIE                             | 2001                         | Sonora             | CC PIE     | GAS         | 250                     | 1,895                  | 87                   |
| Mexicali (PIE)                             | 2003                         | BC                 | CC PIE     | GAS         | 489                     | 2,136                  | 50                   |
| Naco Nogales (PIE)                         | 2003                         | Sonora             | CC PIE     | GAS         | 258                     | 2,462                  | 109                  |
| Saltillo (PIE)                             | 2001                         | Coahuila           | CC PIE     | GAS         | 248                     | 1,957                  | 90                   |
| La Laguna II (PIE)                         | 2005                         | Durango            | CC PIE     | GAS         | 498                     | 3,671                  | 84                   |
| Río Bravo II (PIE)                         | 2002                         | Tamaulipas         | CC PIE     | GAS         | 495                     | 3,657                  | 84                   |
| Río Bravo III (PIE)                        | 2004                         | Tamaulipas         | CC PIE     | GAS         | 495                     | 3,272                  | 75                   |
| Río Bravo IV (PIE)                         | 2005                         | Tamaulipas         | CC PIE     | GAS         | 500                     | 3,514                  | 80                   |
| Monterrey III (PIE)                        | 2002                         | Nuevo León         | CC PIE     | GAS         | 449                     | 3,576                  | 91                   |
| Altamira II (PIE)                          | 2002                         | Tamaulipas         | CC PIE     | GAS         | 495                     | 3,718                  | 86                   |
| Altamira III y IV (PIE)                    | 2003                         | Tamaulipas         | CC PIE     | GAS         | 1,036                   | 7,856                  | 87                   |
| Chihuahua III (PIE)                        | 2003                         | Chihuahua          | CC PIE     | GAS         | 259                     | 2,054                  | 91                   |
| Altamira V (PIE)                           | 2006                         | Tamaulipas         | CC PIE     | GAS         | 1,121                   | 8,385                  | 85                   |
| Norte Durango (PIE)                        | 2010                         | Durango            | CC PIE     | GAS         | 450                     | 3,787                  | 96                   |
| Tamazunchale (PIE)                         | 2007                         | San Luis Potosí    | CC PIE     | GAS         | 1,135                   | 8,434                  | 85                   |
| El Sauz Bajío (PIE)                        | 2002                         | Guanajuato         | CC PIE     | GAS         | 495                     | 4,265                  | 98                   |
| Campeche (PIE)                             | 2003                         | Campeche           | CC PIE     | GAS         | 252                     | 1,286                  | 58                   |

| NOMBRE DE LA CENTRAL            | AÑO DE INICIO DE OPERACIONES | ENTIDAD FEDERATIVA  | TECNOLOGÍA | COMBUSTIBLE | CAPACIDAD EFECTIVA (MW) | GENERACIÓN BRUTA (GWh) | FACTOR DE PLANTA (%) |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------|------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Mérida III (PIE)                | 2000                         | Yucatán             | CC PIE     | GAS         | 484                     | 2,415                  | 57                   |
| Tuxpan II (PIE)                 | 2001                         | Veracruz            | CC PIE     | GAS         | 495                     | 3,864                  | 89                   |
| Tuxpan III y IV (PIE)           | 2003                         | Veracruz            | CC PIE     | GAS         | 983                     | 6,830                  | 79                   |
| Tuxpan V (PIE)                  | 2006                         | Veracruz            | CC PIE     | GAS         | 495                     | 3,993                  | 92                   |
| Valladolid III (PIE)            | 2006                         | Yucatán             | CC PIE     | GAS         | 525                     | 2,503                  | 54                   |
| Otras hidroeléctricas           | 1991                         | México              | HID        | n.a.        | 403                     | 1,573                  | 44.6                 |
| Otras Eoloelectricas            | 1991                         | México              | EOL        | n.a.        | 2                       | 2                      | 11.4                 |
| Otras Térmicas Convencionales   | 1991                         | México              | TC         | COM         | 287                     | 655                    | 26.1                 |
| Otras Térmicas Convencionales   | 1991                         | México              | TC         | GAS         | 287                     | 136                    | 5.4                  |
| Otras Ciclo Combinado           | 1991                         | México              | CC         | GAS         | 265                     | 2,180                  | 93.9                 |
| Otras Turbinas de Gas           | 1991                         | México              | TG         | GAS         | 1,578                   | 195                    | 1.4                  |
| Otras Combustión interna        | 1991                         | México              | CI         | COM         | 30                      | 88                     | 33.4                 |
| Manzanillo I Rep U1             | 2012                         | Colima              | CC         | GAS         | 460                     | 3,224                  | 80                   |
| Manzanillo I Rep U2             | 2012                         | Colima              | CC         | GAS         | 460                     | 3,224                  | 80                   |
| Centro                          | 2013                         | Morelos             | CC         | GAS         | 660                     | 4,625                  | 80                   |
| Norte II (Chihuahua)            | 2013                         | Chihuahua           | CC PIE     | GAS         | 459                     | 3,217                  | 80                   |
| Agua Prieta II                  | 2013                         | Sonora              | CC         | GAS         | 463                     | 3,245                  | 80                   |
| Baja California III (La Jovita) | 2013                         | BC                  | CC PIE     | DIE         | 294                     | 2,060                  | 80                   |
| Norte III (Juárez)              | 2015                         | Chihuahua           | CC PIE     | GAS         | 954                     | 6,686                  | 80                   |
| Baja California II              | 2014                         | Baja California     | CC         | GAS         | 276                     | 1,934                  | 80                   |
| Centro II                       | 2015                         | Morelos             | CC         | GAS         | 660                     | 4,625                  | 80                   |
| Noreste (Escobedo)              | 2016                         | Nuevo León          | CC         | GAS         | 1034                    | 7,246                  | 80                   |
| Todos Santos                    | 2016                         | Baja California Sur | CC         | COM         | 80                      | 561                    | 80                   |
| Topolobampo II                  | 2016                         | Sinaloa             | CC         | GAS         | 700                     | 4,906                  | 80                   |
| Guaymas II                      | 2017                         | Sonora              | CC         | GAS         | 747                     | 5,235                  | 80                   |
| Topolobampo III                 | 2017                         | Sinaloa             | CC         | GAS         | 700.00                  | 4,906                  | 80                   |
| Valle de México II              | 2017                         | Estado de México    | CC         | GAS         | 601.00                  | 4,212                  | 80                   |
| Guaymas III                     | 2018                         | Sonora              | CC         | GAS         | 747.00                  | 5,235                  | 80                   |
| Manzanillo II Rep U1            | 2018                         | Colima              | CC         | GAS         | 460.00                  | 3,224                  | 80                   |
| Baja California IV (Ensenada)   | 2018                         | Baja California     | CC         | DIE         | 565                     | 3,960                  | 80                   |
| Occidental I (Bajío)            | 2018                         | Aguascalientes      | CC         | GAS         | 470                     | 3,294                  | 80                   |
| Manzanillo II Rep U2            | 2019                         | Colima              | CC         | GAS         | 460                     | 3,224                  | 80                   |
| Norte IV                        | 2019                         | Chihuahua           | CC         | GAS         | 918                     | 6,433                  | 80                   |
| Mérida IV                       | 2019                         | Yucatán             | CC         | GAS         | 378                     | 2,649                  | 80                   |
| Valle de México III             | 2019                         | Estado de México    | CC         | GAS         | 601.00                  | 4,212                  | 80                   |
| Noreste II y III (Monterrey)    | 2020                         | Nuevo León          | CC         | GAS         | 1041.00                 | 7,295                  | 80                   |
| Salamanca                       | 2020                         | Guanajuato          | CC         | GAS         | 629.00                  | 4,408                  | 80                   |
| Jorge Luque                     | 2020                         | Estado de México    | CC         | GAS         | 601.00                  | 4,212                  | 80                   |
| Baja California V (SLRC)        | 2021                         | Sonora              | CC         | GAS         | 591                     | 4,142                  | 80                   |

| NOMBRE DE LA CENTRAL              | AÑO DE INICIO DE OPERACIONES | ENTIDAD FEDERATIVA  | TECNOLOGÍA | COMBUSTIBLE | CAPACIDAD EFECTIVA (MW) | GENERACIÓN BRUTA (GWh) | FACTOR DE PLANTA (%) |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------|------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Mazatlán                          | 2021                         | Sinaloa             | CC         | GAS         | 867                     | 6,076                  | 80                   |
| Guadalajara I                     | 2021                         | Jalisco             | CC         | GAS         | 453                     | 3,175                  | 80                   |
| Occidental II (SLP)               | 2021                         | San Luis Potosí     | CC         | GAS         | 940.00                  | 6,588                  | 80                   |
| Central (Tula)                    | 2021                         | Hidalgo             | CC         | GAS         | 1160                    | 8,129                  | 80                   |
| Norte V (Torreón)                 | 2022                         | Coahuila            | CC         | GAS         | 944                     | 6,616                  | 80                   |
| Valladolid IV                     | 2022                         | Yucatán             | CC         | GAS         | 567                     | 3,974                  | 80                   |
| La Paz                            | 2023                         | Baja California Sur | CC         | DIE         | 130                     | 911                    | 80                   |
| Tamazunchale II                   | 2023                         | San Luis Potosí     | CC         | GAS         | 1121                    | 7,856                  | 80                   |
| Central II (Tula)                 | 2024                         | Hidalgo             | CC         | GAS         | 1160                    | 8,129                  | 80                   |
| Baja California IV (Mexicali)     | 2025                         | Baja California     | CC         | DIE         | 554                     | 3,882                  | 80                   |
| Mérida V                          | 2025                         | Yucatán             | CC         | GAS         | 540.00                  | 3,784                  | 80                   |
| Norte IV (Chihuahua)              | 2025                         | Chihuahua           | CC         | GAS         | 918.00                  | 6,433                  | 80                   |
| Todos Santos IV                   | 2025                         | Baja California Sur | CC         | DIE         | 130.00                  | 911                    | 80                   |
| Noreste VI                        | 2026                         | Tamaulipas          | CC         | GAS         | 1041.00                 | 7,295                  | 80                   |
| Occidental III (Bajío)            | 2026                         | Aguascalientes      | CC         | GAS         | 940                     | 6,588                  | 80                   |
| Guerrero Negro III                | 2012                         | BCS                 | CI         | COM         | 11                      | 63                     | 65                   |
| Baja California Sur III (Corumel) | 2012                         | BCS                 | CI         | COM         | 43                      | 245                    | 65                   |
| Baja California Sur IV (Corumel)  | 2013                         | BCS                 | CI         | COM         | 43                      | 245                    | 65                   |
| Santa Rosalía II                  | 2012                         | BCS                 | CI         | COM         | 15                      | 85                     | 65                   |
| Santa Rosalía III                 | 2014                         | BCS                 | CI         | COM         | 11                      | 63                     | 65                   |
| Guerrero Negro IV                 | 2013                         | BCS                 | CI         | COM         | 7                       | 40                     | 65                   |
| Baja California Sur V (Coromuel)  | 2015                         | Baja California Sur | CI         | COM         | 43                      | 245                    | 65                   |
| Rumorosa I y II                   | 2014                         | Baja California     | EOL        | n.a.        | 200                     | 526                    | 30                   |
| Sureste III                       | 2015                         | Oaxaca              | EOL        | n.a.        | 304                     | 799                    | 30                   |
| Rumorosa III                      | 2015                         | Baja California     | EOL        | n.a.        | 100                     | 263                    | 30                   |
| Sureste IV                        | 2017                         | Oaxaca              | EOL        | n.a.        | 304                     | 799                    | 30                   |
| Tamaulipas I                      | 2017                         | Tamaulipas          | EOL        | n.a.        | 200                     | 526                    | 30                   |
| Sureste V                         | 2017                         | Oaxaca              | EOL        | n.a.        | 300.00                  | 788                    | 30                   |
| Tamaulipas II                     | 2018                         | Tamaulipas          | EOL        | n.a.        | 200                     | 526                    | 30                   |
| Sureste IV                        | 2018                         | Oaxaca              | EOL        | n.a.        | 300                     | 788                    | 30                   |
| Tamaulipas III                    | 2019                         | Tamaulipas          | EOL        | n.a.        | 200                     | 526                    | 30                   |
| Coahuila I                        | 2021                         | Coahuila            | EOL        | n.a.        | 150                     | 394                    | 30                   |
| Coahuila II                       | 2022                         | Coahuila            | EOL        | n.a.        | 150                     | 394                    | 30                   |
| Sureste I y II PIE                | 2013                         | Oaxaca              | EOL PIE    | n.a.        | 608                     | 1,598                  | 30                   |
| Oaxaca I                          | 2012                         | Oaxaca              | EOL PIE    | n.a.        | 101.4                   | 266                    | 30                   |
| Oaxaca II, III Y IV               | 2012                         | Oaxaca              | EOL PIE    | n.a.        | 304                     | 799                    | 30                   |
| La Venta III                      | 2012                         | Oaxaca              | EOL PIE    | n.a.        | 101                     | 266                    | 30                   |
| Humeros Fase A                    | 2011                         | Puebla              | GEO        | n.a.        | 27                      | 213                    | 90                   |
| Humeros Fase B                    | 2012                         | Puebla              | GEO        | n.a.        | 27                      | 213                    | 90                   |

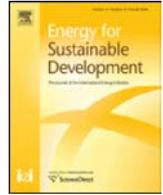
| NOMBRE DE LA CENTRAL             | AÑO DE INICIO DE OPERACIONES | ENTIDAD FEDERATIVA  | TECNOLOGÍA | COMBUSTIBLE | CAPACIDAD EFECTIVA (MW) | GENERACIÓN BRUTA (GWh) | FACTOR DE PLANTA (%) |
|----------------------------------|------------------------------|---------------------|------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Azufres III Fase I               | 2014                         | Michoacán           | GEO        | n.a.        | 50                      | 394                    | 90                   |
| Humeros III                      | 2015                         | Puebla              | GEO        | n.a.        | 54                      | 426                    | 90                   |
| Mexicali                         | 2017                         | Baja California     | GEO        | n.a.        | 100                     | 788                    | 90                   |
| Azufres III Fase II              | 2018                         | Michoacán           | GEO        | n.a.        | 25                      | 197                    | 90                   |
| Azufres IV                       | 2020                         | Michoacán           | GEO        | n.a.        | 75.00                   | 591                    | 90                   |
| La Yesca U1 y U2                 | 2012                         | Nayarit             | HID        | n.a.        | 750                     | 2,300                  | 35                   |
| Chicoasén II                     | 2017                         | Chiapas             | HID        | n.a.        | 225                     | 690                    | 35                   |
| Río Moctezuma                    | 2018                         | Querétaro           | HID        | n.a.        | 190.00                  | 583                    | 35                   |
| La Parota U1, U2 y U3            | 2018                         | Guerrero            | HID        | n.a.        | 900                     | 2,759                  | 35                   |
| Villita Ampliación               | 2019                         | Michoacán           | HID        | n.a.        | 150                     | 460                    | 35                   |
| El Pescado (Balsas)              | 2019                         | Guerrero            | HID        | n.a.        | 17                      | 52                     | 35                   |
| Acala                            | 2020                         | Chiapas             | HID        | n.a.        | 135.00                  | 414                    | 35                   |
| Paso de la Reina                 | 2020                         | Oaxaca              | HID        | n.a.        | 540.00                  | 1,656                  | 35                   |
| Sistema Pescados (La Antigua)    | 2021                         | Veracruz            | HID        | n.a.        | 120                     | 368                    | 35                   |
| Xúchiles (Metlac)                | 2021                         | Veracruz            | HID        | n.a.        | 54                      | 166                    | 35                   |
| Cruces                           | 2021                         | Nayarit             | HID        | n.a.        | 490                     | 1,502                  | 35                   |
| Omitlán                          | 2023                         | Guerrero            | HID        | n.a.        | 234                     | 717                    | 35                   |
| Tenosique                        | 2024                         | Chiapas-Tabasco     | HID        | n.a.        | 420                     | 1,288                  | 35                   |
| Madera                           | 2024                         | Chihuahua           | HID        | n.a.        | 406                     | 1,245                  | 35                   |
| Noreste IV (Sabinas)             | 2022                         | Coahuila            | NGL        | K           | 700                     | 4,906                  | 80                   |
| Oriental I y II                  | 2023                         | Veracruz            | NGL        | K           | 1400                    | 9,811                  | 80                   |
| Pacífico II                      | 2024                         | Guerrero            | NGL        | K           | 700                     | 4,906                  | 80                   |
| Noreste V (Sabinas)              | 2024                         | Coahuila            | NGL        | K           | 700                     | 4,906                  | 80                   |
| Pacífico III                     | 2025                         | Guerrero            | NGL        | K           | 700                     | 4,906                  | 80                   |
| Noroeste IV y V                  | 2025                         | Sonora              | NGL        | K           | 1400.00                 | 9,811                  | 80                   |
| Oriental III y IV                | 2026                         | Veracruz            | NGL        | K           | 1400                    | 9,811                  | 80                   |
| Piloto Solar Santa Rosalia       | 2012                         | BCS                 | SOLAR      | n.a.        | 1                       | 2                      | 25                   |
| Piloto Solar Baja California     | 2013                         | BC                  | SOLAR      | n.a.        | 5                       | 11                     | 25                   |
| Termosolar Agua Prieta II        | 2013                         | Sonora              | SOLAR      | n.a.        | 14                      | 31                     | 25                   |
| Salamanca Fase I                 | 2013                         | Guanajuato          | TG         | GAS         | 470                     | 535                    | 13                   |
| Baja California TG Fase I        | 2013                         | BC                  | TG         | DIE         | 124                     | 141                    | 13                   |
| Todos Santos II                  | 2016                         | Baja California Sur | TG         | DIE         | 49                      | 56                     | 13                   |
| Todos Santos III                 | 2021                         | Baja California Sur | TG         | DIE         | 129                     | 147                    | 13                   |
| Los Cabos TG                     | 2026                         | Baja California Sur | TG         | DIE         | 43                      | 49                     | 13                   |
| Modificación de capacidad Xul-ha | 2011                         | Quintana Roo        | TG         | GAS         | 1.7                     | 2                      | 13                   |

## ANEXO 4

### NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA VIGENTES EN 2016

| CLAVE DE LA NORMA               | TÍTULO  | SECTOR AL QUE SE APLICA |
|---------------------------------|---|-------------------------|
| NOM-003-ENER-2011               | Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Límites, método de prueba y etiquetado.  | Residencial             |
| NOM-004-ENER-2014               | Eficiencia energética para el conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia de uso doméstico, en potencias de 0,180 kW (¼ HP) hasta 0,750 kW (1 HP).- Límites, métodos de prueba y etiquetado                                    | Residencial             |
| NOM-005-ENER-2012               | Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.   | Residencial             |
| NOM-015-ENER-2012               | Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.  | Residencial             |
| NOM-017-ENER/SCFI-2012          | Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba.  | Residencial             |
| NOM-021-ENER/SCFI-2008          | Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado   | Residencial             |
| NOM-023-ENER-2010               | Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, método de prueba y etiquetado   | Residencial             |
| NOM-025-ENER-2013               | Eficiencia térmica de aparatos domésticos para cocción de alimentos que usan gas L.P. o gas natural. Límites, métodos de prueba y etiquetado.   | Residencial             |
| NOM-026-ENER-2015               | Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido (Inverter) con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado.  | Residencial             |
| NOM-028-ENER-2010               | Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.  | Residencial             |
| NOM-030-ENER-2012               | Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.   | Residencial             |
| NOM-032-ENER-2013               | Límites máximos de potencia eléctrica para equipos y aparatos que demandan energía en espera. Métodos de prueba y etiquetado.   | Residencial             |
| NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 | Emisiones de bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos. | Transporte              |
| NOM-001-ENER-2014               | Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.   | Agropecuario y Público  |

| CLAVE DE LA NORMA      | TÍTULO  | SECTOR AL QUE SE APLICA |
|------------------------|---|-------------------------|
| NOM-006-ENER-2015      | Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba.  | Agropecuario y Público  |
| NOM-010-ENER-2004      | Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.   | Agropecuario y Público  |
| NOM-013-ENER-2013      | Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.   | Público                 |
| NOM-031-ENER-2012      | Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba.                  | Público                 |
| NOM-002-SEDE/ENER-2014 | Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.   | Industrial y comercial  |
| NOM-014-ENER-2004      | Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 kW a 1,500 kW. | Industrial y comercial  |
| NOM-016-ENER-2010      | Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado. | Industrial y comercial  |
| NOM-009-ENER-2014      | Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales.  | Industrial              |
| OM-019-ENER-2009       | Eficiencia térmica y eléctrica de máquinas tortilladoras mecanizadas. Límites, método de prueba y marcado.  | Comercial               |
| NOM-022-ENER/SCFI-2014 | Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.                        | Comercial               |
| NOM-007-ENER-2014      | Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.   | Industrial y Comercial  |
| NOM-008-ENER-2001      | Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.   | Industrial y Comercial  |
| NOM-018-ENER-2011      | Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba.   | Residencial             |
| NOM-020-ENER-2011      | Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional.   | Residencial             |
| NOM-024-ENER-2012      | Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones. Etiquetado y métodos de prueba.  | Residencial             |



## Review

# The impact of energy efficiency standards on residential electricity consumption in Mexico



Samuel A. Martínez-Montejo, Claudia Sheinbaum-Pardo \*

*Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México*

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 19 January 2016  
Revised 21 February 2016  
Accepted 22 February 2016  
Available online xxxx

## Keywords:

Energy efficiency standards  
Appliance saturation and lifetime  
Mexico

## ABSTRACT

Minimum Energy Efficiency Standards (MEES) for residential appliances have been part of the Mexican national energy policy since the early nineties. This study analyzes the impact of MEES on residential electricity consumption and the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions related to refrigerators, washing machines, air conditioners, televisions and lighting products in Mexico. The paper presents estimated achievements of MEES from 1990 to 2012 and future scenarios until 2030 by implementing stricter MEES based on the best technology available. A replacement technology model was developed to estimate, saved energy and avoided CO<sub>2</sub> emissions for different appliances' lifetimes. Considering a 16-year average lifetime of appliances and 80% penetration of efficient lighting technologies, in 2013 energy savings were estimated to be 16.06-TWh (emission reduction of 9.5 Tg CO<sub>2</sub>). Different scenarios are presented assuming different average lifetimes of appliances as well as an increase in renewable energy sources in electricity production.

© 2016 International Energy Initiative. Published by Elsevier Inc. All rights reserved.

## Contents

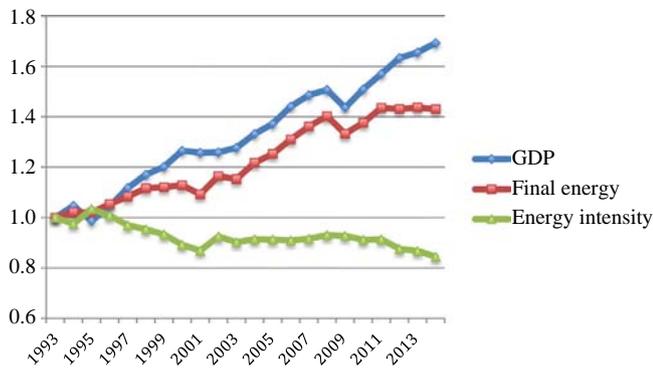
|   |    |
|---|----|
| Introduction . . . . .                                  | 50 |
| An overview of energy consumption in Mexico . . . . .   | 52 |
| Residential energy consumption . . . . .                | 52 |
| UEC for new appliances . . . . .                        | 53 |
| Minimum Energy Efficiency Standards in Mexico . . . . . | 53 |
| TV and lighting . . . . .                               | 53 |
| Methodology and data . . . . .                          | 54 |
| Number of appliances . . . . .                          | 54 |
| Scenarios for year 2030 . . . . .                       | 55 |
| Avoided CO <sub>2</sub> emissions . . . . .             | 57 |
| Results . . . . .                                       | 57 |
| Avoided CO <sub>2</sub> emissions . . . . .             | 58 |
| Sensitivity analysis and rebound effect . . . . .       | 58 |
| Conclusions . . . . .                                   | 59 |
| References . . . . .                                    | 60 |

## Introduction

Energy efficiency measures have been important since the 1973 oil embargo, and they have taken on renewed importance with global climate change (Gillingham et al., 2009). Within this context, Minimum

Energy Efficiency Standards (MEES) for appliances have been a key strategy for increasing energy security, and mitigating climate change (Van Buskirk et al., 2014). Energy efficiency programs for appliances started in the US (Meyers et al., 2014), with the Energy Policy and Conservation Act (EPCA) in 1975 that established a program consisting of labeling and energy conservation targets for different types of consumer products. Later on, in 1987 with the National Appliance Energy Conservation Act (NAECA), EPCA was amended to establish the first US national energy conservation standards for consumer products (Meyers et al.,

\* Corresponding author at: Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán CP, 04510 Mexico City, Mexico. Tel.: +52 556233693.  
E-mail address: csheinbaum@ii.unam.mx (C. Sheinbaum-Pardo).



**Fig. 1.** Changes in Mexican indicators considering 1993 as base year. Source: INEGI (2016) and SENER (2016).

2014). Since then, subsequent modifications have been made, as well as other energy efficiency programs such as Energy Star, a voluntary program to identify and promote energy-efficient consumer products.

In the case of Mexico, MEES for appliances have been part of Mexican national energy policies since the early nineties (Masera et al., 1993; Friedmann and Sheinbaum, 1998). MEES in Mexico, remote to 1989 with the creation of The National Commission for Energy Savings (today CONUEE – Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía), the Electricity Sector's Energy Saving Program (Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico – PAESE) and the Revolving-loan trust Fund to Save Electricity (Fideicomiso Para el Ahorro de Energía – FIDE). In 1995 the first mandatory MEES for water pumps, gas heaters and refrigerators were published. By now, 27 MEES are in place in Mexico (CONUEE, 2013; SENER, 2008; SENER, 2010; 2012a; 2012b).

Since the establishment of MEES, several academic papers have analyzed their importance and their impacts. Some of the most recognized studies are Shipper and Meyers (1992), Levine et al. (1995), Koomey et al. (1995), Turiel (1999), Nadel (2002), and Meyers et al. (2003). Recent studies that analyze the benefits and weakness of MEES after 20 years of the application are for example Davis (2011), who examines the saturation of Energy Star appliances using US Residential Energy Consumption Survey; Shimoda et al. (2010) that featured greenhouse gas reduction potential in Japanese residential sector by residential

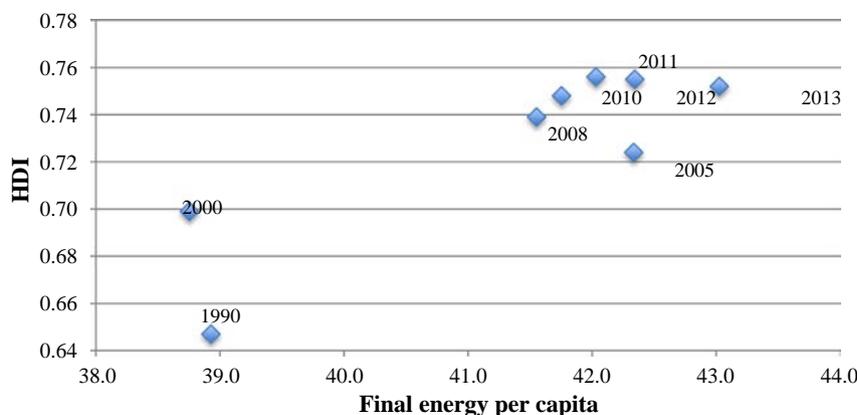
energy end-use model and the application of MEES; Dixon et al. (2010), who summarize the history of US energy conservation and efficiency policies; Jiang (2011) that develop an analysis of national and local energy-efficiency design standards in the public building sector in China. Meyers et al. (2013) estimated the key impacts of Federal energy and water conservation standards adopted from 1987 through evaluating the reduction in CO<sub>2</sub> emissions associated with their application. The last publication estimated a reduction of 198 million metric tons of CO<sub>2</sub> emissions, equivalent to 3% of total US in 2012.

Also, Van Buskirk et al. (2014) developed a retrospective investigation of energy efficiency standards and the declination in appliance costs. Parry et al. (2010) developed an analytical framework for comparing the welfare effects of energy efficiency standards and pricing policies for reducing gasoline, electricity, and nationwide carbon emissions. Borg and Kelly (2011) also studied the effect of appliance energy efficiency improvements on domestic electric loads in European households; and Kalavase et al. (2012) projected impacts of global energy efficiency standards for appliances implemented in Super-efficient Equipment and Appliance Deployment Initiative (SEAD) countries. Also, Nogueira et al. (2015) studied the impact of energy efficiency measures in Brazil.

In the case of Mexico, Masera et al. (1993) presented the first end use analysis of residential sector in Mexico and the possibilities of energy efficiency standards, followed by Sheinbaum et al. (1996). Friedman et al. (1995) developed one of the first studies on residential lighting energy efficiency opportunities, and Friedmann and Sheinbaum (1998) analyzed energy efficiency policies in Mexico. Years later, Arroyo-Cabañas et al. (2009) analyzed saving potential for refrigerators, Ruchansky et al. (2011) evaluated energy efficiency programs in different Latin-American countries including Mexico; Gopal et al. (2014) studied self financing of energy efficiency incentives in Mexico and recently CONUEE (2013) developed a balance of MEES in Mexico.

The aim of this paper is to estimate the impact of MEES for different appliances in residential electricity consumption in Mexico and estimate future energy savings due to the scaling up of energy standards. The appliances analyzed are refrigerators, washing machines, and air conditioners; televisions are also included in the analysis, because of its importance in residential energy consumption, although there are no MEES for them. Lighting is also included in the analysis; in this case a standard published in December 2010 (SENER, 2010) established a ban to sold incandescent bulbs of 100 W in December 2011; 75 W in December 2012 and 40 to 60 W in December 2013.

As mentioned above, there have been some studies on the analysis of appliance energy efficiency standards in Mexico; the novelty of this



**Fig. 2.** Final energy per capita and Human Development Index. Source: SENER (2016) and UNDP (2016). Final energy per capita in GJ/cap.

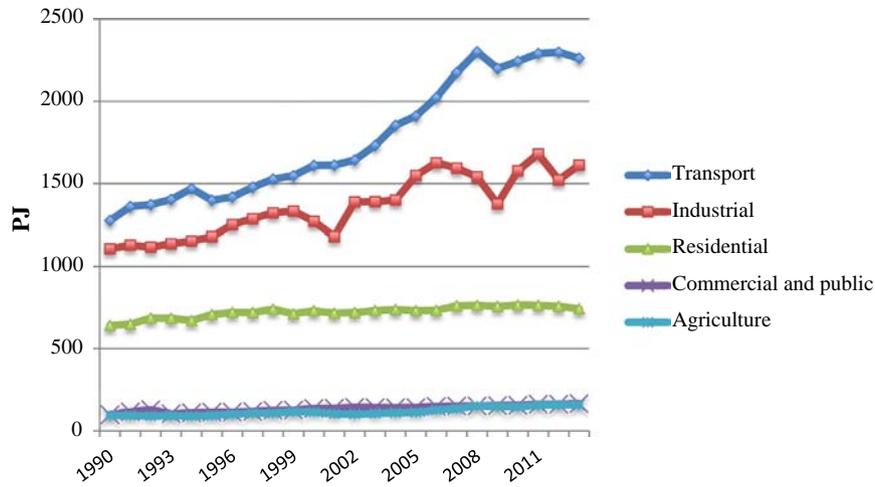


Fig. 3. Final energy use by sectors in Mexico.

study is the evaluation of past impacts and future perspectives, as well as the presentation of a mathematical model to evaluate appliance substitution, which allows estimating past and future energy savings. The study also presents a sensitivity analysis that takes into account the rebound effect (Greening et al., 2000).

**An overview of energy consumption in Mexico**

Final energy consumption in Mexico has grown at an annual rate of 1.8% from 1993 to 2013, while GDP grew at an average annual rate of 2.6%. Fig. 1 shows these changes, along with energy intensity (final energy/GDP), considering 1993 as a base year. As shown in 20 years Mexico had a 20% reduction in energy intensity, although from 2002 to 2011 it remained almost constant.

On the other hand, Fig. 2 shows Mexican final energy consumption vs. Human Development Index (a composite statistic of life expectancy, education, and income per capita indicators). As shown the change from 1990 (when Mexico started energy efficiency programs) to 2000 shows that it is possible to improve HDI while reducing energy consumption; however from 2000 to 2008 HDI while energy consumption increased, and from 2008 to 2013 HDI has remained roughly constant, while

energy use increased considerably. This is due to the higher rate of increase in transport energy consumption.

*Residential energy consumption*

Mexican households use over 15% of total final energy. According to the National Energy Balances (SENER, 2015) between 1990 and 2013, residential energy consumption, including fuel-wood grew by only 0.64%/year (to a value of 743 PJ), compared to energy use for transport sector that grew 2.5%/year, industry, 1.65%/year; and agriculture and commercial sectors 2.30%/year (Fig. 3).

The slightly increase in final residential energy consumption compared to other sectors represented a reduction in energy consumption per dwelling and almost a constant value of energy consumption per capita as shown in Fig.4. The difference is clearly related to the reduction in persons per dwelling that changed from 5.4 in 1990 to 3.8 in 2013.

When analyzing the residential energy use by final energy source, it is clear that the reduction in energy intensity came from the decrease in fuelwood and LPG consumption. In the case of LPG, the reduction is probably related to the increased efficiency in water heaters and cook stoves, although a specific study is needed to analyze it. On the other hand, the reduction in fuelwood consumption represents a transition

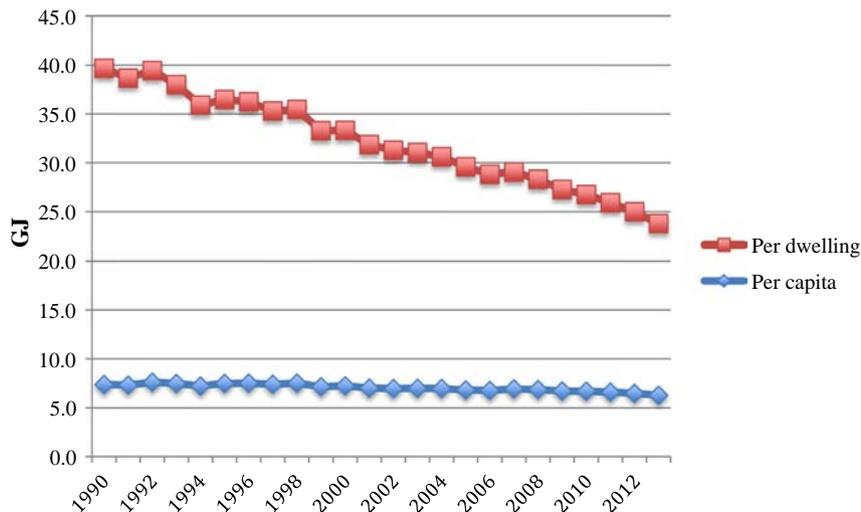


Fig. 4. Final residential energy.

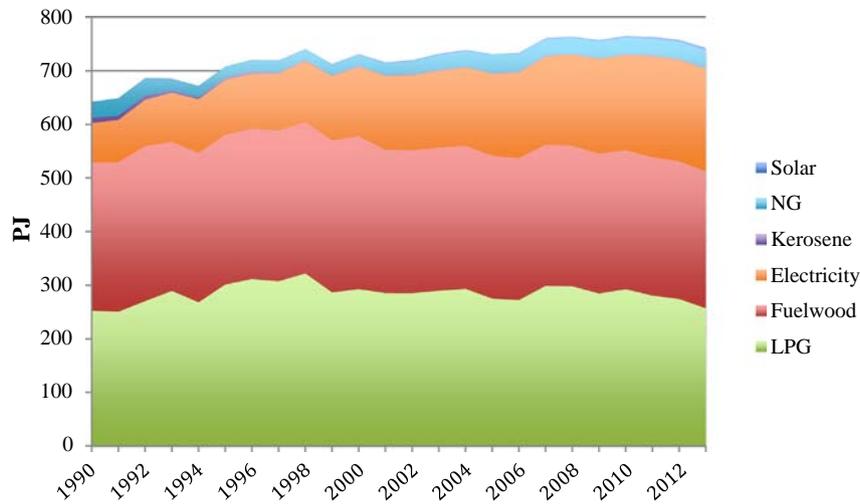


Fig. 5. Residential energy use by final source.

to commercial fuels (mainly LPG), related to the increase in the urban population. From 1990 to 2010, Mexican rural inhabitants decreased from 27.5 million to 25.8 million. In the same years the share of urban population increased from 65% to 77%. In contrast to LPG and fuelwood, residential electricity grew by 4.3%/year between 1990 and 2013 (Fig. 5); which meant a 2.9%/year increase in per capita electricity use (from 234 kWh/cap in 1990 to 448 kWh/cap in 2013) and 1.3%/year in per dwelling electricity use (from 1260 kWh/dwelling in 1990 to 1700 kWh/dwelling in 2013).

There is no official information on residential electricity use by end uses; the only available information is from the National income expenditure surveys and the National population census is appliance ownership (Table 1; INEGI, 1996, 2000, 2010, 2012). Nevertheless, a publication by Rosas et al. (2010), estimated that in 2006, 30% of Mexican residential electricity consumption was for refrigerators, 22% for lighting, 19% for air conditioners, 14% for TVs, 6% for cloth washing, and 9% for other appliances (Table 2).

It is clear that one of the most important drivers in the rise of residential electricity consumption is the growth in appliance ownership, as shown in Table 1. But appliance ownership is only a part of the information necessary for a complete analysis of energy consumption. It is also necessary to know how much energy each appliance uses. The unit energy consumption (UEC) of appliances (energy consumption per appliance per year) depends mainly on the power of the appliance and the time the appliance is used. The MEES regulate the maximum power and energy consumption an appliance can have under certain test procedures.

Table 1

Appliance ownership in Mexico.

Source: Lighting refers to dwellings with electricity: Census data (INEGI, 1990, 2000, 2010). TV: Based on income-expenditure household survey INEGI (1996, 2006, 2012). More than one TV per dwelling. Refrigerator and cloth washer: Census (INEGI, 2000, 2010). Air conditioner: Income-expenditure household survey INEGI (1996, 2012). Interpolation and extrapolation based on exponential annual rate of growth.

|                     | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 |
|---------------------|------|------|------|------|
| Dwellings (million) | 16.2 | 21.9 | 28.6 | 31.2 |
| Lighting            | 88%  | 95%  | 98%  | 98%  |
| TV                  | 93%  | 126% | 170% | 186% |
| Refrigerator        | 60%  | 68%  | 82%  | 87%  |
| Cloth washer        | 39%  | 52%  | 66%  | 72%  |
| Air conditioner     | 8%   | 10%  | 12%  | 13%  |

MEES are designed for new appliances; therefore, the impact of MEES in residential energy consumption depends on both, the acquisition of new appliances by new households and the rate of renewal or average useful life of the appliances in use. The consideration of these variables is presented in the methodology (Methodology and data section).

### UEC for new appliances

#### Minimum Energy Efficiency Standards in Mexico

Table 3 shows the MEES for the three of the five appliances analyzed in this study, and Fig. 6 presents the average UEC established in the MEES and their updates.

#### TV and lighting

In addition to the appliances regulated by MEES we included the use of electricity for TVs and lighting in the analysis. Flat screen TVs cut the average electricity consumption by more than half compared to the old cathode ray tubes (CRT) they replaced (Table 4, USEPA, 2015); therefore, their impacts in residential energy consumption is very important. The same is for Compact Fluorescent Lamps and LEDs in comparison to incandescent bulbs. As mentioned in the introduction, a standard that prohibited the sales of incandescent bulbs was published in December 2010 (SENER, 2010).

Table 5 presents an estimation of the average UEC for new appliances for past and future years. Table 6 presents an estimation of

Table 2

Residential energy by end uses (2006).

Source: Rosas et al. (2010). Per capita considers total population.

|                 | TWh  | %   | kWh/cap/year |
|-----------------|------|-----|--------------|
| Lighting        | 9.9  | 22  | 91.2         |
| TV              | 6.1  | 14  | 56.6         |
| Refrigerator    | 13.4 | 30  | 123.5        |
| Cloth washers   | 2.7  | 6   | 24.9         |
| Air conditioner | 8.6  | 19  | 78.9         |
| Others          | 3.8  | 9   | 34.8         |
| Total           | 44.4 | 100 | 410.0        |

**Table 3**  
Minimum Energy Efficiency Standards in Mexico.  
Source: CONUEE (2013).

|                  | Refrigerator | Cloth washing | Air conditioner   |
|------------------|--------------|---------------|-------------------|
| Name of standard | NOM-015-ENER | NOM-005-ENER  | NOM-021-ENER/SCFI |
| In force         | 1995         | 1997          | 1995              |
| First upgrade    | 1997         | 2000          | 2000              |
| Second upgrade   | 2002         | 2010          | 2008              |
| Third upgrade    | 2012         | 2012          |                   |

saturation of lighting technologies based on sales INEGI (2016) and (Rosas et al., 2010).

**Methodology and data**

Electricity consumption for the residential sector in year *t* can be expressed as:

$$E_t = D_t \sum_i S_{it} UEC_{it} \tag{1}$$

where *D* is the number of dwellings in year *t*, *S* is the saturation of appliance *i* in year *t* and UEC is the Unit Energy Consumption (kWh/year). Data of dwellings and appliance saturation is obtained from INEGI (1990, 2000, 2010) and INEGI (2006, 2012). UEC for new appliances is showed in Table 5.

*Number of appliances*

In order to calculate the number of appliances by age in certain year, we developed the “Replacement technology model for electrical appliances (RTMEA)”, which assumes that when an electrical appliance reaches the end of its lifetime, it should be replaced with a new one produced in accordance with the current official standards, or new technology development for the case of TVs. For base year

**Table 4**  
Power for different TV technologies.  
Source: Energy star database (USEPA, 2015; Aoe et al., 2003).

| Average TV (35–50 in.)  | Power consumption in on mode (W) |
|-------------------------|----------------------------------|
| LCD with direct lit-LED | 28.8–35.4                        |
| LCD with edge lit-LED   | 28.9–66.9                        |
| LCD                     | 36–85                            |
| CRT (19 in.)            | 204                              |

**Table 5**  
UEC for new appliances (average kWh/year).  
Source: Rosas et al. (2010), CONUEE (2013), Energy Star database: USEPA (2015), and IPCC (2015).

|      | Refrigerator | Washing machines | AC   | TV  |
|------|--------------|------------------|------|-----|
| 1990 | 829          | 166              | 2725 | 153 |
| 1995 | 734          | 166              | 2028 | 153 |
| 1997 | 626          | 150              | 2028 | 153 |
| 2000 | 626          | 150              | 2028 | 153 |
| 2002 | 626          | 120              | 1862 | 153 |
| 2008 | 442          | 120              | 1862 | 60  |
| 2010 | 442          | 120              | 1862 | 60  |
| 2012 | 372          | 95               | 1862 | 50  |
| 2020 | 268          | 49               | 931  | 40  |
| 2030 | 214          | 31               | 931  | 40  |

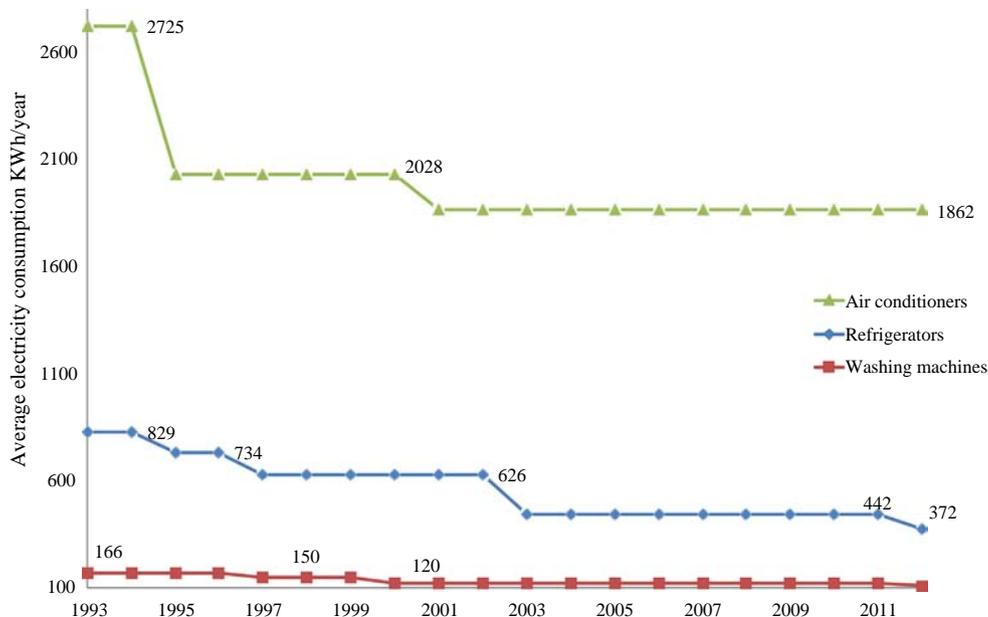
Average considering a refrigerator of 14ft<sup>3</sup>, a washing machine of 10 kg, an air conditioner of 1000 BTU/h and a television of 32 in.

(1990), the share of appliances by year is estimated based on a logarithmic decrease.

Total number of appliances in certain year is:

$$A_T = A_t + A_{t-1} + A_{t-2} + \dots + A_{t-(n-1)} \tag{2}$$

where *A<sub>T</sub>* is the total number of certain appliances in year *t*, *A<sub>t</sub>* is the number of appliances acquired in year *t*, *A<sub>t-1</sub>* is the number of appliances acquired in year *t* – 1, and *n* is the lifetime of the appliance. Arroyo-



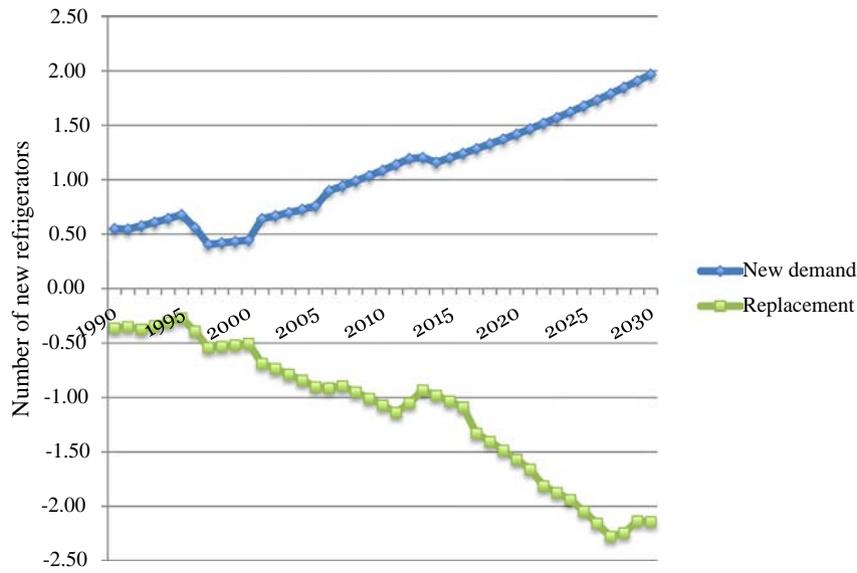
**Fig. 6.** Average UEC enforced by MEES in Mexico. Note: Average *A<sub>t</sub>* considers a medium size appliance.

**Table 6**

Average UEC for lighting.

Source: Rosas et al. (2010), INEGI (2010), Energy star database USEPA (2015).

| Year | Average UEC (kWh/year) | Number of light bulbs per dwelling | Incandescent |     | Fluorescent |     | CFL   |     | LEDS  |     |
|------|------------------------|------------------------------------|--------------|-----|-------------|-----|-------|-----|-------|-----|
|      |                        |                                    | S            | UEC | S           | UEC | S     | UEC | S     | UEC |
| 1990 | 299.5                  | 5.1                                | 82.4%        | 50  | 13.3%       | 30  | 4.3%  | 18  | 0.0%  | 10  |
| 1995 | 299                    | 5.1                                | 82.4%        | 50  | 13.3%       | 30  | 4.3%  | 18  | 0.0%  | 10  |
| 2000 | 382                    | 5.6                                | 79.9%        | 60  | 12.0%       | 30  | 8.1%  | 18  | 0.0%  | 10  |
| 2005 | 423                    | 7.3                                | 76.8%        | 60  | 10.6%       | 30  | 10.6% | 18  | 0.0%  | 10  |
| 2010 | 344                    | 7.8                                | 40.9%        | 60  | 10.2%       | 30  | 47.9% | 18  | 1.0%  | 10  |
| 2013 | 209                    | 8.4                                | 20.0%        | 30  | 10.0%       | 25  | 65.0% | 18  | 5.0%  | 10  |
| 2015 | 192                    | 9.6                                | 0.0%         |     | 9.2%        | 25  | 84.0% | 18  | 6.8%  | 10  |
| 2020 | 204                    | 9.6                                | 0.0%         |     | 7.5%        | 25  | 78.1% | 18  | 14.4% | 10  |
| 2025 | 203                    | 11.0                               | 0.0%         |     | 6.1%        | 25  | 63.3% | 18  | 30.6% | 10  |
| 2030 | 138                    | 11.0                               | 0.0%         |     | 5.0%        | 25  | 30.0% | 18  | 65.0% | 10  |



**Fig. 7.** Estimation of new refrigerators by year. Note: reductions of new demand are related to years of economic stagnation or GDP decrease in the country. Assuming an average lifetime of 16 years. Replacements represent the number of refrigerators that are not in use because they reached their average lifetime (the same amount has to be purchased in the same year to replace the old ones). Replacement is shown negative representing the refrigerators that are no longer in use. Total sales for certain year are the sum of the absolute value of new plus replacement.

Cabañas et al. (2009) estimated a 16-year average lifetime of refrigerators. We assume the same lifetime for other appliances.

Now,  $A_t$  is the sum up of the new appliances related to the increase of new dwellings ( $An_{it}$ ) and new appliances related to the replacement of the appliances that have reached its lifetime ( $Ar_{it}$ ) therefore:

$$A_t = An_{it} + Ar_{it} \tag{3}$$

where:

$$An_{it} = S_{it}D_t - S_{it-1}D_{t-1} \tag{4}$$

where  $S_{it}$  is the saturation of appliance in year  $t$  and  $D_t$  is the number of dwellings. The model assumes that all appliances acquired in certain year will last until the end of its lifetime. Thus, the number of appliances replaced in year  $t$  is just:

$$Ar_{it} = A_{it-n}. \tag{5}$$

For instance, the refrigerators acquired in 1990 will last until year 2006, year in which they have to be replaced. In the case of lighting, average energy consumption is estimated based on Table 5. Fig. 7, for example, presents new refrigerators by year divided in new dwellings and replacement.

*Scenarios for year 2030*

Scenarios for year 2030 are built with the same methodology than past trends, considering a 2000–2013 annual rate of growth in appliance ownership (Table 7). Estimation of UEC per appliance by year is presented in Tables 5 and 6 based on USEPA (USEPA, 2015).

**Table 7**  
Appliance saturation based on 2000–2013 annual rate of growth.

|                      | 2013 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------|------|------|------|------|
| Dwellings (millions) | 31.2 | 37.2 | 41.7 | 46.6 |
| Lighting             | 98%  | 100% | 100% | 100% |
| TV                   | 186% | 225% | 258% | 295% |
| Refrigerator         | 87%  | 97%  | 105% | 114% |
| Cloth washing        | 72%  | 83%  | 93%  | 104% |
| Air conditioning     | 13%  | 16%  | 18%  | 20%  |

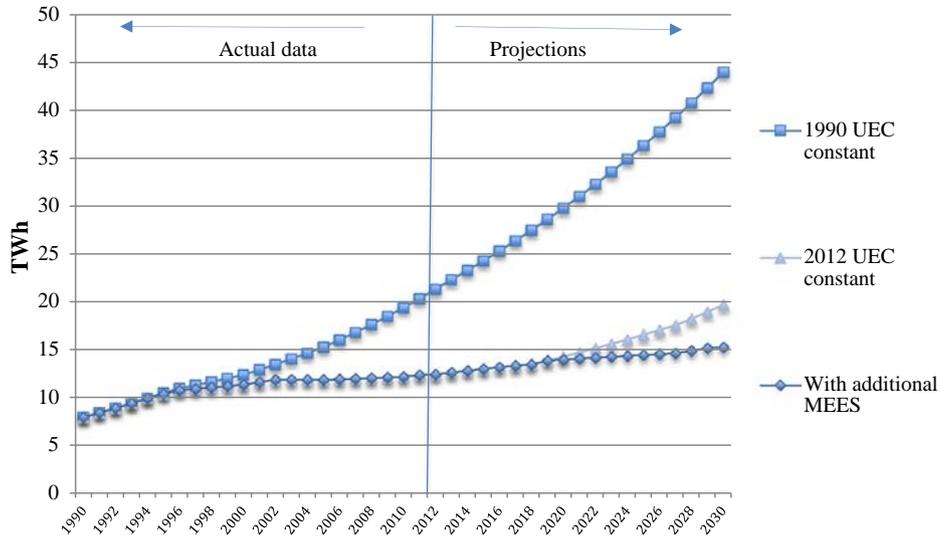


Fig. 8. Electricity consumption for refrigerators in Mexico with and without MEES.

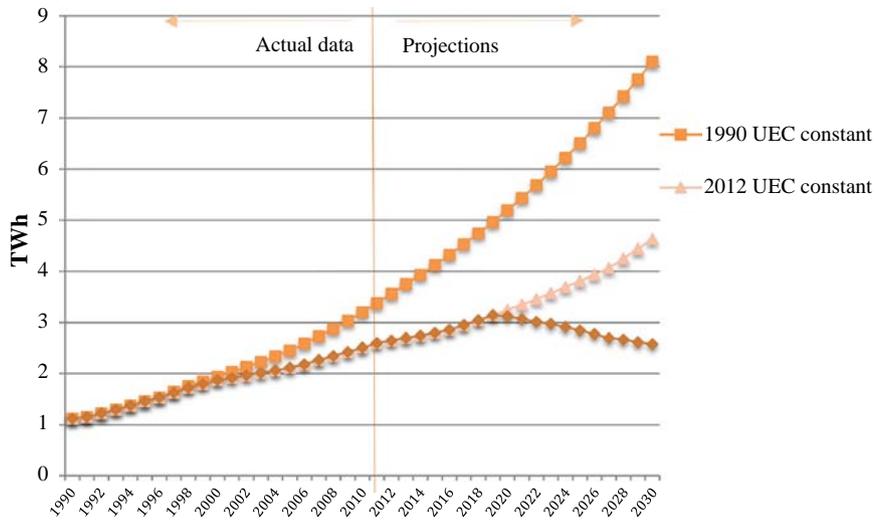


Fig. 9. Electricity consumption for clothes washers with and without MEES.

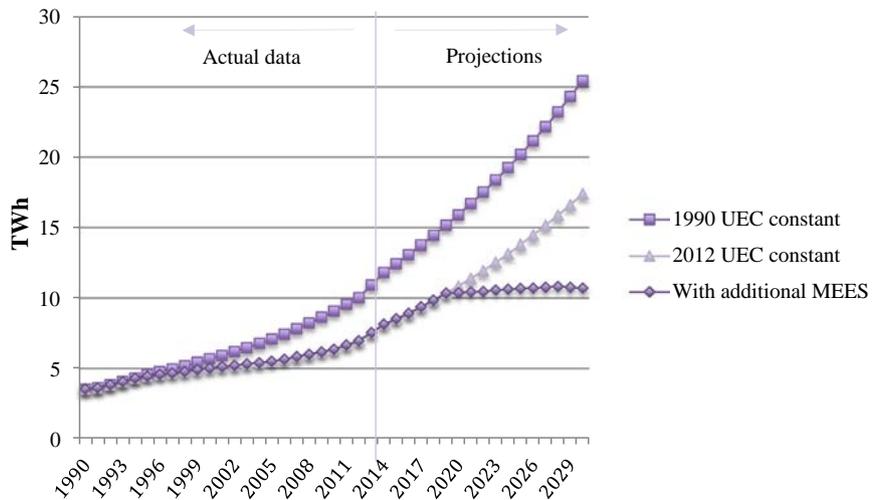


Fig. 10. Air conditioning electricity consumption in Mexico with and without MEES.

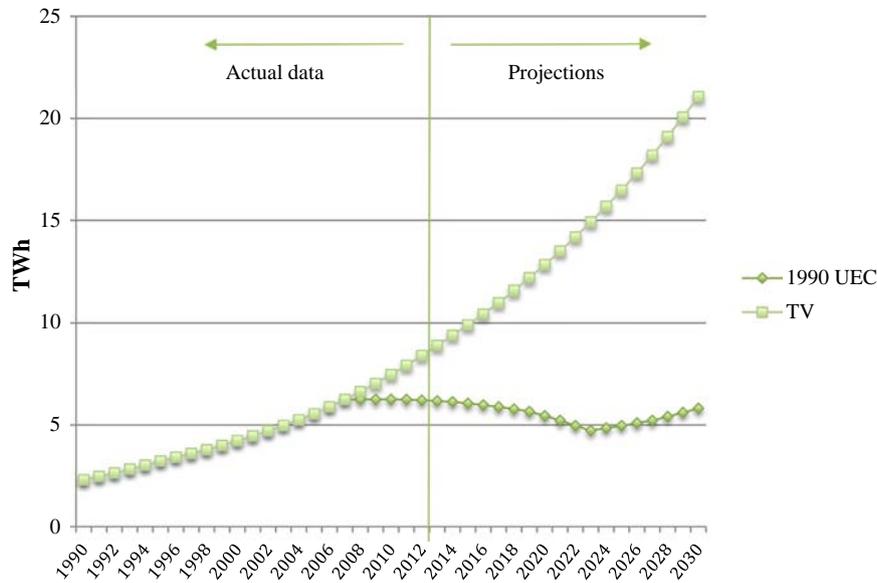


Fig. 11. Electricity consumption for TVs in Mexico.

*Avoided CO<sub>2</sub> emissions*

In order to estimate CO<sub>2</sub> emissions avoided due to the application of MEES, it is important to estimate the CO<sub>2</sub> electricity emission factor.

$$CO_2 t = E_t * EEF_t \tag{6}$$

where CO<sub>2</sub> are the emissions in year *t*, *E<sub>t</sub>* is electricity consumption in year *t* and *EEF<sub>t</sub>* is the electricity emission factor in year *t*. The electricity emission factor varied over time, depending on the mix of primary energy sources and the power generation, according to:

$$EEF_t = \frac{\sum_{ij} F_{jt} EF_j}{GE_t (1 - L_t)} \tag{7}$$

where *F* is the amount of fuel consumption *j* used to produce electricity in year *t*, *EF* is the CO<sub>2</sub> emission factor of fuel *j*; *GE* is the total electricity

generation in year *t* and *L* is the percentage of losses in electricity transmission and distribution in year *t* (CONUEE, 2009).

**Results**

Figs. 8 to 13 present the trends and prospects in electricity consumption by appliance (or end-use) considering: a) UECs constant at their 1990 value; b) UECs constant at their 2012 value and, c) UECs considering new MEES. Table 8 shows the electricity savings from 1990 to 2012 and the estimated baseline scenario for year 2030. Energy savings of 16.06 TWh were achieved in 2012 because of MEES, in comparison to a scenario where UECs would have been constant at its 1990 value. In year 2030 electricity savings will reach 69.55 TWh based on the same comparison.

As shown in Fig. 10, total electricity consumption for these end-uses is estimated to reach 43 TWh in 2030, nearly two times larger than in

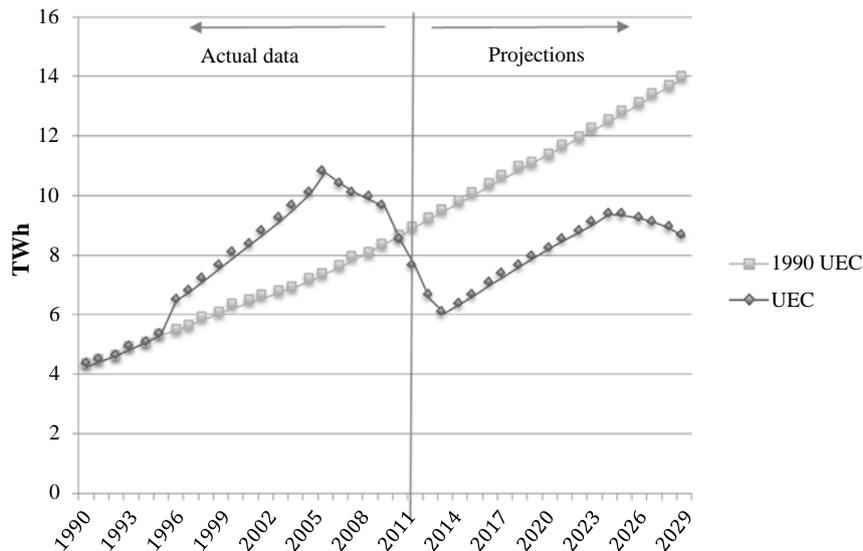


Fig. 12. Electricity consumption for residential lighting in Mexico with and without MEES.

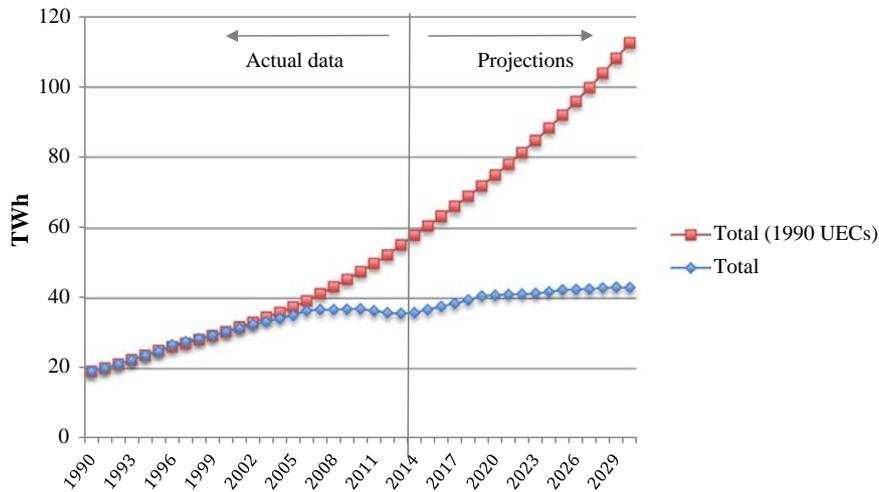


Fig. 13. Residential electricity consumption in Mexico for 5 end uses with and without MEES (baseline scenario).

1990, but 5 times less if UECs would have been constant at its 1990 values.

*Avoided CO<sub>2</sub> emissions*

The CO<sub>2</sub> emission factor for electricity generation is based on historical data and official projections (CFE, 2014), and IPCC (2006) emission factors, as presented in Table 9.

CO<sub>2</sub> emission due to electrical appliances use from 1990 to 2013 and estimations from 2014 to 2030 are presented in Fig. 14, considering UECs constant at its 1990 value and UECs applying MEES. MEES implied a CO<sub>2</sub> emission reduction of 9.5Tg of CO<sub>2</sub> in 2012, which represented 6.5% of CO<sub>2</sub> emissions of electricity production for the same year. By 2030, the updating of MEES (MEES scenario) would imply 30.9Tg of CO<sub>2</sub> emissions avoided, 14% of total emissions related to electricity production in 2030.

Table 10 shows the changes of each variable in the determination of final CO<sub>2</sub> emissions. It is not a decomposition analysis but a simple explanation of the importance of each variable in the construction of this analysis. As shown, number of dwellings and number of lamps per dwelling promote the increase in electricity consumption for lighting. In the case of ACs and TVs, the increase in appliance saturation is higher than the decrease in their respective UEC.

Based on the analysis of Table 10, and considering that the UECs presented in MEES baseline scenario are the best technological change possible so far, it is clear that an additional CO<sub>2</sub> mitigation strategy related to electricity use for residential appliances is possible with the following considerations: a) accelerating the penetration of more efficient appliances; b) increasing the share of renewable sources in electricity production.

**Table 8**  
Electricity savings. UECs constant at its 1990 value and UECs with MEES. Baseline scenario (TWh).

|               | 2012  | 2030  |
|---------------|-------|-------|
| Lighting      | 0.98  | 5.34  |
| Refrigerator  | 8.90  | 28.70 |
| Cloth washing | 0.91  | 5.52  |
| AC            | 3.07  | 14.73 |
| TV            | 2.19  | 15.25 |
| Total         | 16.06 | 69.55 |

Considering the above assumptions, two additional scenarios are built; a) 10 year average lifetime for the 4 appliance considered, and 80% penetration of LEDs (instead of 65%); and b) A 50% share of renewables in the electricity generation mix (Table 11). Results are shown in Fig. 15 and Table 12. Reductions of electricity consumption because of changes in average lifetime of appliances (10 years instead of 16 years of the baseline scenario) represented an additional 4.0 TWh in 2012 and extra 5.2 TWh in 2030. Considering a 50% of renewables in electricity mix will represent emissions of 10.52 TgCO<sub>2</sub> in 2030 (an additional reduction of 6.3 Tg of CO<sub>2</sub>).

*Sensitivity analysis and rebound effect*

Some authors explain that energy-efficiency improvements due to technological progress tend to overestimate the potential saving effects because they frequently ignore the behavioral responses, naming this phenomenon the rebound effect (Greening et al., 2000; Binswanger, 2001; Borg and Kelly, 2011). Other authors explain that the rebound effect has been overplayed (Gillingham et al., 2013). Without entering this debate it is interesting as a sensitivity analysis, to estimate the difference in results assuming a 10% increase in UECs than the average established in the above scenarios. Compared to

**Table 9**  
Electricity generation by fuel in Mexico, and associated CO<sub>2</sub> emissions.

|  | 1990   | 2000   | 2010   | 2020   | 2030   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nuclear  | 4.2%   | 5.8%   | 3.2%   | 2.6%   | 2.0%   |
| Hydro  | 27.1%  | 22.6%  | 11.4%  | 9.7%   | 7.9%   |
| Geothermal   | 3.0%   | 2.8%   | 2.1%   | 1.9%   | 1.7%   |
| Wind   |        |        | 0.6%   | 1.4%   | 3.6%   |
| Solar  |        |        | 0.0%   | 0.0%   | 0.6%   |
| Biomass  | 0.2%   | 0.2%   | 0.7%   | 1.1%   | 1.8%   |
| Coal   | 5.0%   | 13.3%  | 12.4%  | 6.4%   | 2.8%   |
| Diesel   | 0.2%   | 0.2%   | 0.5%   | 0.4%   | 0.4%   |
| Fuel oil   | 47.1%  | 40.3%  | 20%    | 16.4%  | 1.8%   |
| LPG  | 0.1%   | 0.1%   | 0.0%   | 0.1%   | 0.1%   |
| Petrol coke  |        |        | 0.7%   | 0.8%   | 1.1%   |
| NG   | 13.1%  | 14.7%  | 48.4%  | 59.2%  | 76.2%  |
| Total (TWh)  | 126.34 | 186.03 | 274.30 | 358.9  | 537.3  |
| Emission factor (kgCO <sub>2</sub> /kWh)                               | 0.68   | 0.69   | 0.59   | 0.45   | 0.44   |
| T&D losses <sup>a</sup>  | 13.15% | 14.77% | 16.06% | 11%    | 11%    |
| CO <sub>2</sub> emissions due to electricity production in Mexico (Mt) | 67.73  | 113.80 | 130.57 | 142.34 | 219.62 |

<sup>a</sup> Source: SENER (2016) and CFE (2014).

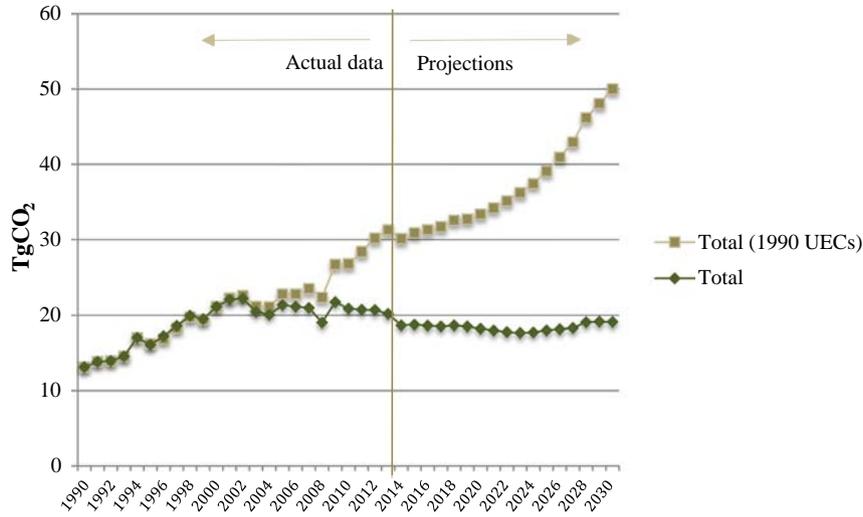


Fig. 14. CO<sub>2</sub> emissions for electricity consumption of 5 end uses with and without MEES (baseline scenario).

baseline scenario, reductions in 2030 will be 4.6% compared to 2012 electricity consumption instead of 12%. This sensitivity analysis gives an idea of the margin of uncertainty around the number presented for the reference scenario.

**Conclusions**

Residential final energy consumption in Mexico grew by only 0.64%/year between 1990 and 2013. This is mainly related to reduction in fuelwood consumption (because of increase urban population), and energy efficiency measures in LPG and electricity appliances.

Minimum Energy Efficiency Standards for residential appliances has been a successful policy in Mexico. Nevertheless, the quantification of the energy savings and related reductions in CO<sub>2</sub> emissions are not an easy task because there is no official data on average unit energy consumption. Since MEES are designed for new appliances, their impact in residential electricity consumption depends on both, the acquisition of new appliances by new households and the rate of renewal or

average useful life of the appliances in use. For this reason the impact of MEES in total residential electricity consumption has to be calculated based on an estimation of the average lifetime of appliances.

If UECs had been constant at its 1990 value, electricity consumption for the five end uses analyzed in this paper would have been 52.3 TWh in 2012 and 112.6 TWh in 2030 (representing an avoided emission of 30.2 TgCO<sub>2</sub> in 2012 and 50.0 TgCO<sub>2</sub> in 2030). Results for baseline scenario that considers 16-year average lifetime of appliances, application of MEES, and 65% saturation of LEDs in 2030, represent a reduction of electricity consumption of 16.4 TWh in 2012 and 69.5 TWh in 2030 (9.5 TgCO<sub>2</sub> in 2012, and 30.9 TgCO<sub>2</sub> in 2030 of avoided emissions). If average lifetime of appliances reduces to 10 year and saturation of LEDs in 2030 increases to 80%, reduction in electricity consumption will be an additional 2 TWh in 2012 and 24.8 TWh in 2030 (0.5 TgCO<sub>2</sub> in 2012 and 2.3 TgCO<sub>2</sub> in 2030). Increasing the participation of renewables in electricity generation mix from 15.6% in 2030 to 50% will represent an additional reduction of CO<sub>2</sub> emissions of 6.3 TgCO<sub>2</sub>. However, these reductions might be attenuated by the rebound effect.

The climate change mitigation policy needs to continue promoting the scaling up in the efficiency of the main residential appliances. Additional reduction in CO<sub>2</sub> emissions requires a necessary vigorous policy toward the promotion of renewable energy sources in electricity production in Mexico instead of natural gas as it has been projected in

**Table 10**  
Variables that explain electricity consumption and CO<sub>2</sub> emissions.

|  | 1990  | 2012  | Change (1990–2012) | 2030  | Change (2012–2030) |
|--|-------|-------|--------------------|-------|--------------------|
| Baseline scenario (TgCO <sub>2</sub> ) | 13.1  | 21.7  | 65.6%              | 19.1  | –12.0%             |
| Dwellings (millions)                   | 16.2  | 30.3  | 87.4%              | 46.6  | 53.6%              |
| Lamps per dwelling                     | 5.1   | 7.8   | 53.2%              | 11.0  | 40.8%              |
| Lighting UEC (kWh/year)                | 299.5 | 255.2 | –14.8%             | 184.8 | –27.6%             |
| Refrigerator Saturation                | 60%   | 85%   | 41.8%              | 114%  | 34.0%              |
| UEC (kWh/year)                         | 829   | 372   | –55.1%             | 214   | –42.4%             |
| Cloth washer Saturation                | 40%   | 70%   | 74.4%              | 104%  | 49.2%              |
| UEC (kWh/year)                         | 166   | 95    | –42.8%             | 31    | –67.0%             |
| AC Saturation                          | 8%    | 12%   | 53.7%              | 20%   | 63.9%              |
| UEC (kWh/year)                         | 2725  | 1862  | –31.7%             | 931   | –50.0%             |
| TV Saturation                          | 93%   | 181%  | 94.0%              | 295%  | 63.3%              |
| UEC (kWh/year)                         | 153   | 50    | –67.4%             | 40    | –20.0%             |
| Electricity emission factor (Tg/TWh)   | 0.68  | 0.58  | –15.5%             | 0.44  | –22.9%             |

**Table 11**  
Electricity generation mix in 2030 (50% renewables).  
Sources: Based on scenarios of Vidal-Amaro et al. (2015).

|                |           |
|----------------|-----------|
| Coal           | 2.84%     |
| Nuclear        | 2.00%     |
| Hydro          | 10.07%    |
| Geothermal     | 2.40%     |
| Wind           | 14.40%    |
| Solar          | 14.02%    |
| Biogas         | 8.83%     |
| Diesel         | 0.42%     |
| Fuel oil       | 1.53%     |
| NG             | 42.11%    |
| Petroleum coke | 1.09%     |
| LPG            | 0.13%     |
| Others         | 0.17%     |
| Total (GWh)    | 537,271.7 |



- Parry IW, Evans DA, Oates WE. Are energy efficiency standards justified? Resources for the future discussion paper, 10–59. ; 2010. [Retrieved from: [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1713991](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1713991)].
- Rosas J, Sheinbaum C, Morillon D. The structure of household energy consumption and related CO<sub>2</sub> emissions by income group in Mexico. *Energy Sustain Dev* 2010;14:127–33. [Retrieved from: <http://doi.org/10.1016/j.esd.2010.04.002>].
- Ruchansky Beno, De Buen Odon, Januzzy Gilberto, Romero Andrés. Eficacia institucional de los programas nacionales de eficiencia energética: los casos del Brasil, Chile, México y el Uruguay. CEPAL and División de Recursos Naturales e Infraestructura de Chile; 2011.
- Secretaría de Energía - SENER. Balance Nacional de Energía 2014; 2015. Mexico DF.
- SENER. NOM-021-ENER-2008. "Eficiencia Energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto". Diario Oficial de la Federación. México: Secretaría de Energía; 2008.
- SENER. NOM-028-ENER-2010. "Eficiencia Energética de Lámparas para uso General. Límites y métodos de prueba que establecen los límites mínimos de eficiencia para las lámparas destinadas a la iluminación de los sectores residencial, comercial, servicios, industrial y alumbrado público, que se comercializan en el territorio nacional". Diario Oficial de la Federación. México: Secretaría de Energía; 2010.
- SENER. NOM-005-ENER-2012. "Eficiencia Energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado". Diario Oficial de la Federación. México: Secretaría de Energía; 2012a.
- SENER. NOM-015-ENER-2012. "Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos". Diario Oficial de la Federación. México: Secretaría de Energía; 2012b.
- SENER. Sistema de Información Energética; 2016.
- Sheinbaum C, Martínez M, Rodríguez L. Trends and prospects in Mexican residential energy use. *Energy* 1996;1996(21):493–504.
- Shimoda Y, Yamaguchi Y, Okamura T, Taniguchi A, Yamaguchi Y. Prediction of greenhouse gas reduction potential in Japanese residential sector by residential energy end-use model. *Appl Energy* 2010;2010(87):1944–52.
- Shipper L, Meyers S. Energy efficiency and human activity: past trends, future prospects, vol. 1. Cambridge University Press; 1992.
- Turiel I. Present status of residential appliance energy efficiency standards—an international review. In *Energy Efficiency in Household Appliances*. Springer Berlin Heidelberg.; 1999. p. 43–54.
- UNDP. United Nations Development Program. Human Development Index data; 2016. Retrieved 6 January 2016, from <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi>.
- USEPA. Energy star. 2015. Retrieved January 2016 from: <https://www.energystar.gov>.
- Van Buskirk RD, Kantner CLS, Gerke BF, Chu S. A retrospective investigation of energy efficiency standards: policies may have accelerated long term declines in appliance costs. *Environ Res Lett* 2014;9:114010.
- Vidal-Amaro JJ, Østergaard PA, Sheinbaum-Pardo C. Optimal energy mix for transitioning from fossil fuels to renewable energy sources – the case of the Mexican electricity system. *Appl Energy* 2015;150:80–96.