

PRIMER ANÁLISIS SOBRE LOS BENEFICIOS DE LA
GENERACIÓN LIMPIA DISTRIBUIDA Y LA
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MÉXICO



SENER

SECRETARÍA DE ENERGÍA

MÉXICO, 2017

SECRETARÍA DE ENERGÍA

Pedro Joaquín Coldwell

Secretario de Energía

Leonardo Beltrán Rodríguez

Subsecretario de Planeación y Transición Energética

César Emiliano Hernández Ochoa

Subsecretario de Electricidad

Gloria Brasdefer Hernández

Oficial Mayor

Edmundo Gil Borja

Director General de Comercialización y Distribución de Energía Eléctrica y Vinculación Social

Efraín Villanueva Arcos

Director General de Energías Limpias

Víctor Manuel Avilés Castro

Director General de Comunicación Social

ELABORACIÓN Y REVISIÓN:

Edmundo Gil Borja

Director General de Comercialización y Distribución de Energía Eléctrica y Vinculación Social, Secretaría de Energía.

Efraín Villanueva Arcos

Director General de Energías Limpias, Secretaría de Energía.

Telésforo Trujillo Sotelo

Director de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica, Secretaría de Energía.

Juan de Dios Díaz Rosellón

Pedro Ignacio Hancevic

Hector Mauricio Nuñez Amortegui

Centro de Investigación y Docencia Económicas

Jorge Marcial Islas Samperio

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables

Ricardo Mota Palomino

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Owen Zinaman

James McCall

Andrea Watson

Ricardo Bracho

National Renewable Energy Laboratory

Michael McNeil

Lawrence Berkeley National Laboratory

Fidel Carrasco González

Alejandro Tovar Garza

Daniel Chacón Anaya

Consultores

AGRADECIMIENTOS

Dirección General de Eficiencia y Sustentabilidad Energética, Secretaría de Energía

Comisión Federal de Electricidad

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

Comisión Reguladora de Energía

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

Agencia Alemana para la Cooperación Internacional

Alianza de los Sistemas Eléctricos del Siglo 21

Iniciativa Climática de México

Embajada Británica en México

Tabla de contenido

1. Contexto y justificación.....	7
2. Fundamento jurídico	8
3. Cuantificación de beneficios de la Generación Limpia Distribuida.	9
3A. Metodología y descripción del Modelo estándar	9
3B. Resumen de beneficios.....	11
3B-I. Beneficios para el Estado.....	11
3B-II. Beneficios para los usuarios	12
3B-III. Beneficios ambientales.....	13
4. Cuantificación de beneficios de la Eficiencia Energética.	14
4A. Metodología y descripción del modelo estándar	14
4B. Resumen de beneficios.....	16
4B-I. Beneficios para el Estado.....	16
4B-II. Beneficios para los usuarios	17
4B-III Beneficios ambientales.....	17
5. Conclusiones generales.	17
Bibliografía.....	21
Anexo 1 Valores promedio utilizados para estimar los potenciales de ahorro de energía eléctrica	22

Listado de tablas

Tabla 1 - Ahorros para el Estado [MXN\$/año por 1 kW instalado].	11
Tabla 2 - Recuperación simple de la Inversión [años].....	12
Tabla 3 - Emisiones de GEI y litros de agua evitados.	13
Tabla 4 – Valores promedio y principales supuestos utilizados en el análisis de EE.	16
Tabla 5 – Beneficios para el Estado derivado del análisis de EE.	16
Tabla 6 – Beneficios para el Usuario derivado del análisis de EE.	17

Listado de figuras

Figura 1 - Capacidad instalada de GLD a nivel nacional.	7
Figura 2 – Representación esquemática de la metodología	10
Figura 3 - Generación anual por División CFE [kWh/año por 1 kW instalado].	11
Figura 4 - Beneficios esperados con una contribución del 1% de los SFV al SEN.....	14

Figura 5 - Beneficios esperados de la sustitución de equipos en un millón de hogares en México.	18
Figura 6 - Resumen de beneficios GLD y EE.....	19
Figura 7 - Beneficios colectivos a nivel Estado, usuario y ambiente.	19

Listado de abreviaturas

AMT	Año Meteorológico Típico
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2eq}	Dióxido de Carbono equivalente
DAC	Tarifa Doméstica de Alto Consumo
EE	Eficiencia Energética
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GLD	Generación Limpia Distribuida
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LED	Diodo emisor de luz (Light Emitting Diode por sus siglas en inglés)
LIE	Ley de Industria Eléctrica
LTE	Ley de Transición Energética
NOM	Norma Oficial Mexicana
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PETE	Programa Especial de la Transición Energética
PyMES	Pequeñas y Medianas Empresas
RGD	Redes Generales de Distribución
RNT	Red Nacional de Transmisión
SAM	System Advisory Model
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
SO ₂	Dióxido de Azufre

1. Contexto y justificación

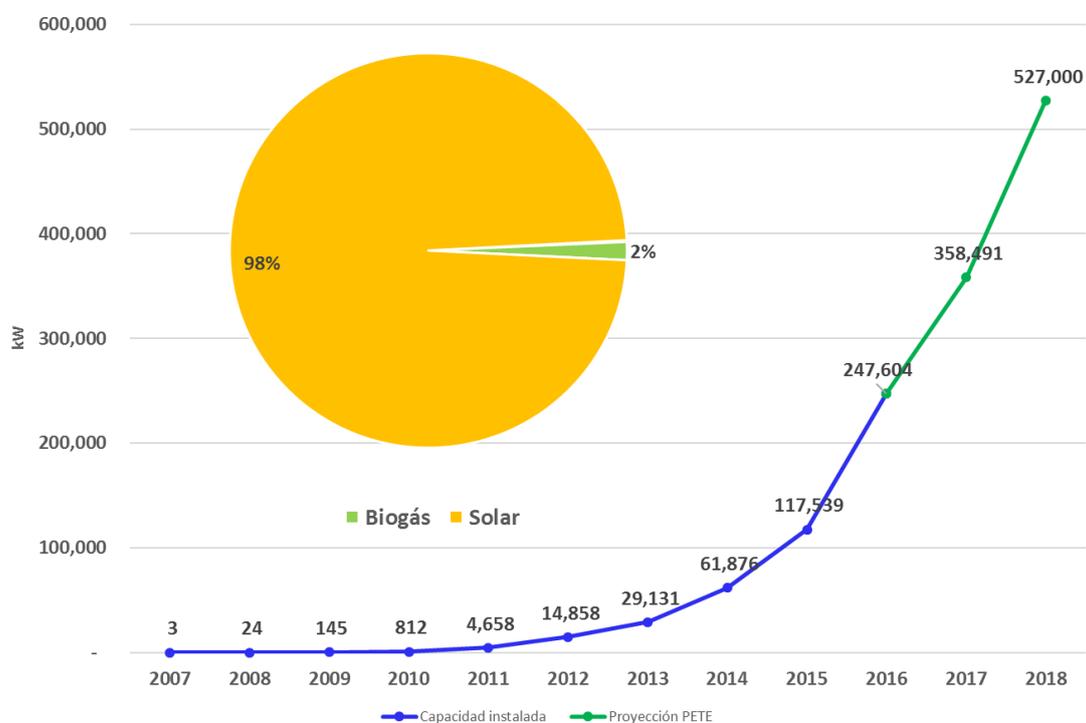
La Reforma Energética impulsada por el Presidente Enrique Peña Nieto promueve la transición hacia un nuevo modelo de sistema energético en donde el gobierno, las empresas y la sociedad en general aprovechan sus recursos de forma racional y sustentable, logrando con ello el apoyo a la economía familiar, la generación de empleos, la protección al medio ambiente, el aumento en la transparencia en el sector energético y la competitividad del país.

Este nuevo modelo se caracteriza no solo por la producción y el consumo de energía más limpia y de menor costo, sino también por la modificación del papel del consumidor pasivo de energía hacia un consumidor más responsable y conocedor del ahorro, la eficiencia y el uso de las energías limpias.

Dentro de las alternativas que presenta el uso de tecnologías limpias, se encuentra la Generación Limpia Distribuida (GLD). Como se observa en la **Figura 1**, actualmente en México 98% de la capacidad instalada de GLD proviene de sistemas fotovoltaicos (SFV) que aprovechan el sol para generar energía eléctrica en hogares y Pequeñas y Medianas Empresas (PyMES). La capacidad instalada de GLD a nivel nacional aumentó de 3 kW en 2007 a 247.6 MW en 2016¹, duplicándose prácticamente año con año después de 2013, periodo que coincide con la Reforma Energética.

En el corto plazo, y según la tendencia observada en los últimos años, se espera que al término de 2018, la capacidad instalada haya alcanzado por lo menos la meta establecida en el Programa Especial de la Transición Energética (PETE) de 527 MW (**Figura 1**).

Figura 1 - Capacidad instalada de GLD a nivel nacional.



¹ Estadísticas reportadas por la Comisión Reguladora de Energía.

En lo que respecta a la Eficiencia Energética (EE), la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más limpios² establece las bases para lograr un ahorro en el consumo final de energía del 40% respecto al escenario base o sin la implementación de acciones de eficiencia energética en los próximos 35 años. El sector residencial tiene un gran potencial de ahorro de energía en iluminación y acondicionamiento de espacios si se introducen las tecnologías más eficientes en el mercado. En cuanto al consumo de energía eléctrica, las reducciones en el sector residencial podrían alcanzar hasta el 53.4% en comparación con el escenario base.

Ante estos escenarios, y a fin de cuantificar los beneficios que podrían resultar del crecimiento de la GLD y de la EE en México en los próximos años, el artículo **Décimo Octavo Transitorio** de la LTE establece que:

“La Secretaría, con el apoyo de un centro de investigación nacional, y en un plazo menor a 365 días a partir de la promulgación de esta ley, deberá realizar un primer análisis sobre: a) las posibles economías para el Estado, b) ahorros para los usuarios, y c) la reducción de la huella de carbono derivados de la instalación de tecnologías de generación limpia distribuida para usuarios domésticos y de diversas medidas de eficiencia energética, en términos del artículo 10, fracción V, de la Ley de Transición Energética.”

El presente documento muestra un resumen de este análisis como elemento de soporte al diseño de políticas públicas, así como del proceso de planificación del sector eléctrico en México con una visión al cumplimiento de metas de eficiencia energética y de energías limpias.

2. Fundamento jurídico

La Constitución establece en su Artículo 4 como derechos fundamentales para los mexicanos el acceso a la salud, a un medio ambiente sano, agua, y vivienda digna. A su vez, en los artículos 25 y 26 se establece que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable.

La Ley de Industria Eléctrica (LIE) promueve el desarrollo sustentable, el uso de energías limpias, la reducción de emisiones contaminantes, la participación social, y la obligación del servicio universal en el sector eléctrico.

Asimismo, el Artículo 3, Fracción XX de la Ley de Transición Energética (LTE) define a la GLD como la generación de energía eléctrica que, en los términos de la LIE (Artículo 3, Fracción XXIII), es realizada a partir de energías limpias por un Generador Exento mediante una Central Eléctrica con capacidad menor a 500 kW, la cual se interconecta a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga.

Por su parte, la EE se encuentra definida en el Artículo 3, Fracción XII de la LTE como: “Todas las acciones que conlleven a una reducción, económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior”.

Finalmente, el Artículo 10, Fracción V de la LTE establece que se debe: “... Proponer a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, a través de la Secretaría, mecanismos de apoyo,

² Publicada en el Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 2016: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5463923&fecha=02/12/2016.

estímulos fiscales, o financieros, que permitan promover inversiones en medidas técnica y económicamente viables en materia de eficiencia energética e integración de sistemas de generación distribuida de electricidad cuando estos impliquen: a) Economías para el Estado, b) ahorros en el pago por electricidad de usuarios que se constituyan en generadores exentos, o c) reducciones de la huella de carbono en el sector de energía.”

3. Cuantificación de beneficios de la Generación Limpia Distribuida.

Los Sistemas Fotovoltaicos (SFV) transforman la energía contenida en la radiación solar en energía eléctrica que puede ser utilizada directamente en las casas o negocios, o bien, para ser entregada a la red de suministro de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). A mayor radiación solar, mayor la cantidad de energía eléctrica que puede ser aprovechada, aunque existen factores como el clima, el sitio de instalación, la orientación de los paneles, las pérdidas en componentes y equipos, entre otros factores, que también afectan su desempeño.

Por su parte, la viabilidad económica de los SFV se obtiene a partir de la energía eléctrica generada por el propio sistema y que de otra forma se hubiera tenido que consumir de las Redes Generales de Distribución (RGD).

Con la finalidad de representar adecuadamente los aspectos técnicos y económicos de los SFV, el análisis cuantitativo para la GLD, presentado en este documento, se realizó mediante el uso del modelo denominado *System Advisory Model* (SAM, por sus siglas en inglés), el cual ha sido desarrollado por el *National Renewable Energy Laboratory* de Estados Unidos (NREL). Este modelo incorpora además una base de datos con radiación solar geo-referenciada, lo cual permite estimar cada hora y durante todo un año la generación de energía eléctrica entregada por el SFV, mejorando con ello la precisión del análisis.

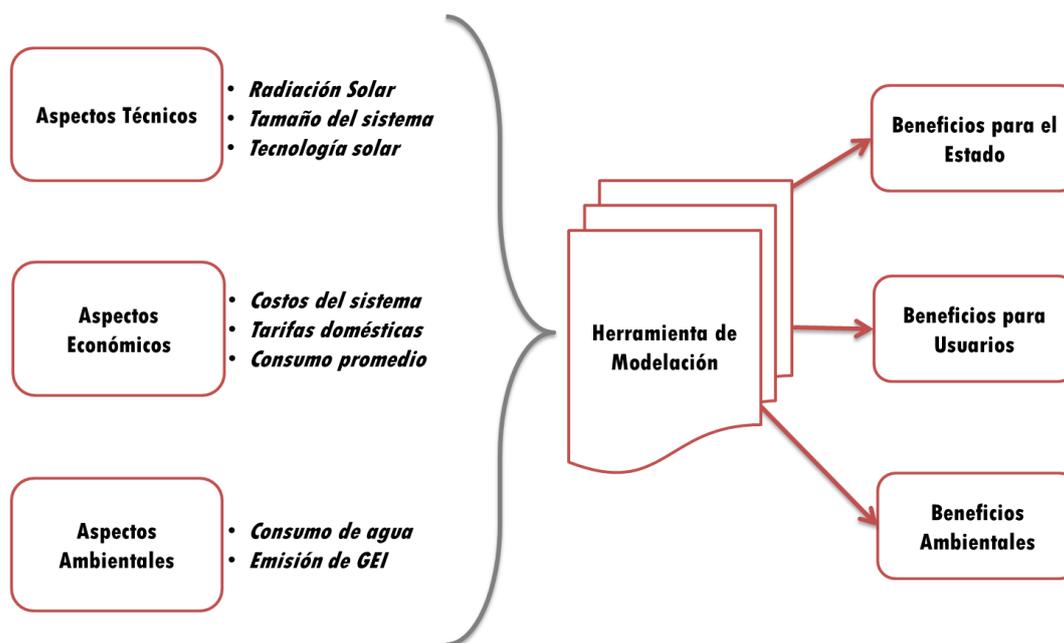
3A. Metodología y descripción del Modelo estándar

El universo de usuarios domésticos en México es de aproximadamente 35 millones, quienes presentan diferentes características y patrones de consumo de energía eléctrica. Es por esta razón que, en primer lugar, fue necesario establecer valores promedio o representativos para las diferentes zonas de distribución de la CFE, así como realizar algunos supuestos que permitieron simplificar el análisis.

Estos valores representativos y supuestos fueron utilizados por el modelo SAM para realizar un cálculo técnico – económico en donde el SFV suministra la totalidad de la demanda de energía eléctrica requerida por los usuarios. El modelo SAM obtiene la generación anual de energía eléctrica del SFV con la información de un Año Meteorológico Típico (AMT) y las características de la instalación. Los patrones de generación se promedian y se obtiene un solo patrón por cada división de distribución de la CFE.

Finalmente, y con base en los resultados obtenidos del modelo, es posible obtener de manera exógena los diferentes beneficios de la utilización de los SFV en el sector residencial en México, y que se describen más a detalle en las siguientes subsecciones. La **Figura 2** resume los insumos y los resultados del proceso de análisis simplificado.

Figura 2 – Representación esquemática de la metodología



Los valores promedio utilizados corresponden a los siguientes parámetros:

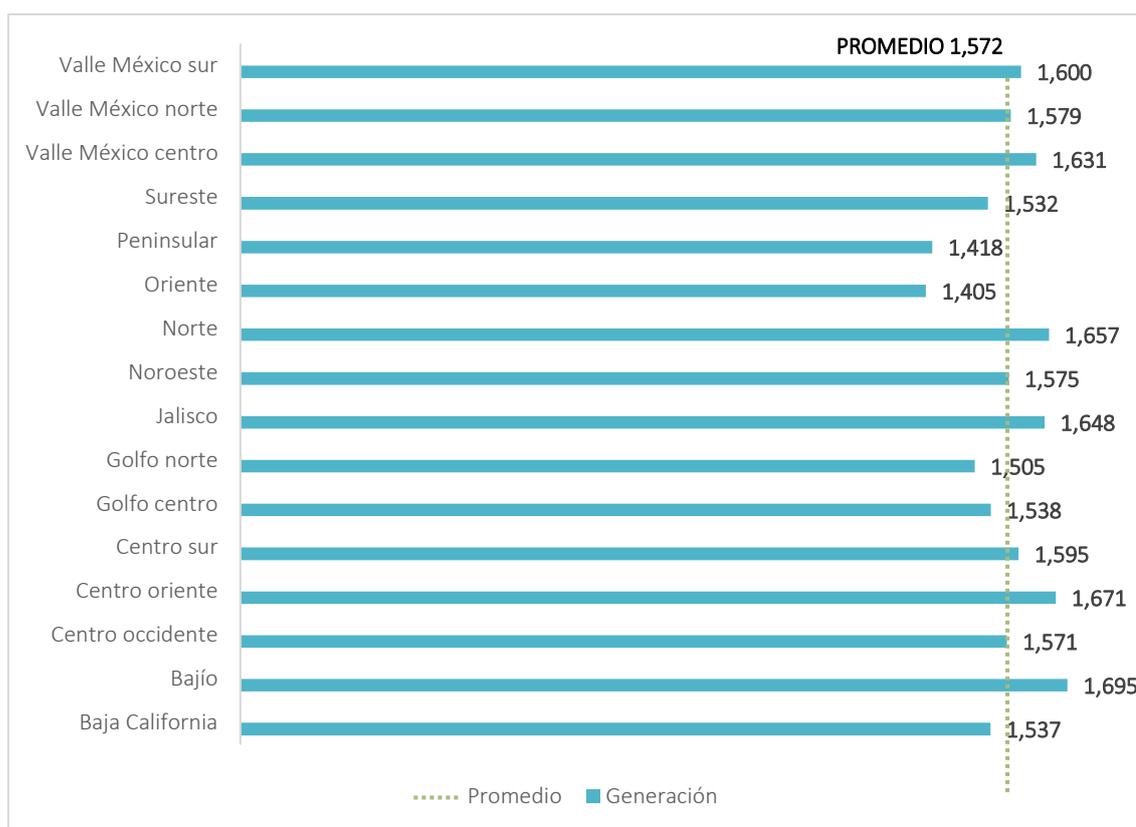
- **Usuario representativo:** Se considera el consumo anual promedio por usuario para cada tarifa y cada división en kWh/año.
- **Aportaciones del Estado:** Se considera una aportación promedio del Estado para cada tipo de tarifa doméstica (1-1F) en \$MXN/kWh.

Los principales supuestos incluyen:

- **Generación estándar del sistema:** Se eligieron las 3 ciudades con mayor población de cada una de las diferentes divisiones de distribución de la CFE para simular la instalación de un SFV de 1 kW de capacidad.
- **Costo estándar:** Se considera un costo de inversión de MXN\$35 por cada watt, de operación y mantenimiento de MXN\$70 al año por cada kilo watt instalado, una inflación del 2.5% y un aumento en las tarifas eléctricas de 0.5% anual.
- **Sistema representativo:** Se considera la instalación de un SFV con una sola orientación (azimut 190° e inclinación de 5°), eficiencia del inversor de 96% y un porcentaje de degradación de rendimiento de 0.5% anual.

En la **Figura 3** se indica la generación anual en cada una de las divisiones de distribución de la CFE como resultado de instalar un SFV de 1 kW de capacidad, la cual varía entre 1,405 kWh/año en la División Oriente y 1,695 kWh/año en la División Bajío, para un promedio de 1,572 kWh/año. Estos resultados dan cuenta del recurso solar abundante que existe en el país.

Figura 3 - Generación anual por División CFE [kWh/año por 1 kW instalado].



3B. Resumen de beneficios

3B-I. Beneficios para el Estado

Los beneficios para el Estado son los ahorros que el Gobierno Federal puede obtener en las aportaciones gubernamentales otorgadas a cada usuario bajo el esquema tarifario vigente. En la **Tabla 1** se muestra el ahorro anual por cada SFV de 1kW de capacidad que se conecte al sistema eléctrico nacional. El ahorro se obtuvo al multiplicar la energía eléctrica suministrada por el SFV en cada división de distribución de la CFE por las aportaciones gubernamentales que se otorgan a cada usuario bajo el esquema tarifario vigente (1-1F). En el caso de las zonas templadas (Tarifas 1-1B) los ahorros son mayores debido a que el Estado destina una mayor aportación gubernamental, respecto a la otorgada a las zonas cálidas (Tarifas 1 C – 1F).³ En este análisis no se incluye a la tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) ya que esta tarifa no recibe aportaciones gubernamentales.

Tabla 1 - Ahorros para el Estado [MXN\$/año por 1 kW instalado].

División CFE Distribución	1	1A	1B	1C	1D	1E	1F
Baja California	2,706	2,630	2,135	1,607	1,625	1,745	1,673
Bajío	3,010	2,986	2,224	N/A	N/A	N/A	N/A
Centro occidente	2,796	2,769	2,223	1,721	1,701	N/A	N/A

³ Valores promedio en \$MXN/kWh proporcionados por la CFE y calculados para el año 2015: **Tarifa 1:** 1.87; **Tarifa 1A:** 1.85; **Tarifa 1B:** 1.52; **Tarifa 1C:** 1.20; **Tarifa 1D:** 1.19; **Tarifa 1E:** 1.29; **Tarifa 1F:** 1.24.

División CFE Distribución	1	1A	1B	1C	1D	1E	1F
Centro oriente	2,978	N/A	2,413	N/A	N/A	N/A	N/A
Centro sur	2,838	2,809	2,270	1,761	1,751	1,897	N/A
Golfo centro	2,712	2,698	2,184	1,631	1,642	N/A	N/A
Golfo norte	2,663	2,646	2,130	1,619	1,609	1,941	N/A
Jalisco	2,918	2,892	2,324	N/A	N/A	N/A	N/A
Noroeste	N/A	2,712	2,215	1,680	1,638	1,800	1,700
Norte	2,942	2,914	2,346	1,796	1,780	N/A	N/A
Oriente	2,495	2,475	1,994	1,500	1,527	N/A	N/A
Peninsular	N/A	2,427	2,016	1,531	1,564	N/A	N/A
Sureste	2,743	2,715	2,185	1,671	1,604	N/A	N/A
Valle México centro	2,893	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Valle México norte	2,811	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Valle México sur	2,844	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A se refieren a que la tarifa no se aplica en la división correspondiente.

3B-II. Beneficios para los usuarios

Los beneficios para los usuarios se refieren a la energía que dejarían de consumir de la RGD, y, por ende, su respectivo ahorro en el pago de su factura de energía eléctrica. Tomando como base la generación promedio que podría ser entregada por un SFV de 1 kW de capacidad en las diferentes divisiones de distribución de la CFE (Ver **Figura 3**), y asumiendo un consumo per cápita de energía eléctrica en México de 2,057 kWh al año,⁴ el beneficio para un usuario significa que podría reducir hasta en 75% la cantidad de energía eléctrica que usa de la red.

No obstante, si el usuario es el encargado de hacer frente a los costos de adquisición, instalación, gastos en operación y mantenimiento de los SFV, los ahorros obtenidos en la factura de energía eléctrica le permitirían recuperar su inversión entre 15 y 21 años. Estos resultados se deben principalmente a las aportaciones gubernamentales que se otorgan bajo el esquema tarifario vigente. El periodo de recuperación depende de la tarifa y la ubicación en la que se encuentre el usuario doméstico, como se indica en la **Tabla 2**.

Tabla 2 - Recuperación simple de la Inversión [años].

División CFE Distribución	1	1A	1B	1C	1D	1E	1F
Baja California	20.5	16.9	17.8	15.6	17.8	15.7	16.5
Bajío	21	22.1	19.3	N/A	N/A	N/A	N/A
Centro occidente	23.1	23.7	20.9	21	20.6	N/A	N/A
Centro oriente	22.5	N/A	25.5	N/A	N/A	N/A	N/A
Centro sur	22.8	23.3	21.7	21.9	22.6	21.4	N/A
Golfo centro	20.6	22.4	21.7	16.8	18.9	N/A	N/A
Golfo norte	22.4	24.1	22	19.1	19.6	19.5	N/A
Jalisco	20.7	21.5	19.5	N/A	N/A	N/A	N/A
Noroeste	N/A	17.6	19.5	17.2	15.6	15.9	14.8
Norte	21.5	22	20	18.2	18.4	N/A	N/A

⁴ Consumo de energía eléctrica en México, 2013. Banco Mundial: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>

División CFE Distribución	1	1A	1B	1C	1D	1E	1F
Oriente	24.5	25.7	23.6	19.2	23.3	N/A	N/A
Peninsular	N/A	18.4	24	20.6	26.5	N/A	N/A
Sureste	26.1	26.5	23	20.4	16.7	N/A	N/A
Valle México centro	21.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Valle México norte	23.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Valle México sur	22.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A se refieren a que la tarifa no se aplica en la división correspondiente.

3B-III. Beneficios ambientales

Los beneficios ambientales se refieren a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y a la disminución en el consumo de agua, ahorros que se obtendrían por generar energía eléctrica con SFV en lugar de centrales de generación que utilizan combustibles fósiles.

En la **Tabla 3** se presentan los resultados de las emisiones de GEI y el consumo de agua evitados por cada SFV instalado en las diferentes divisiones de distribución de la CFE. De esta forma, un SFV de 1 kW de capacidad puede evitar anualmente la emisión de 1.9 toneladas de CO₂ equivalente, además de 5.3 kg/año de dióxido de azufre (SO₂), principal componente de la lluvia ácida. Finalmente, cada kW instalado ahorra anualmente el uso de 1,000 litros de agua, cantidad suficiente para cubrir la ingesta anual de agua de 1.3 personas.

Tabla 3 - Emisiones de GEI y litros de agua evitados.

División CFE Distribución	CO ₂	NOx	CO ₂ eq	SO ₂	Agua
	kg/año	kg/año	kg/año		
Baja California	825.6	3.2	1,822.4	4.9	930.7
Bajío	931.7	3.6	2,056.7	5.5	1,050.4
Centro occidente	869.5	3.4	1,919.4	5.2	980.3
Centro oriente	936.8	3.6	2,068.0	5.6	1,056.1
Centro sur	844.6	3.3	1,864.4	5.0	952.2
Golfo centro	910.9	3.5	2,010.8	5.4	1,026.9
Golfo norte	861.6	3.4	1,902.0	5.1	971.4
Jalisco	952.0	3.7	2,101.6	5.6	1,073.3
Noroeste	872.7	3.4	1,926.5	5.2	983.9
Norte	886.3	3.5	1,956.6	5.3	999.3
Oriente	783.8	3.1	1,730.3	4.6	883.7
Peninsular	786.7	3.1	1,736.5	4.7	886.9
Sureste	882.3	3.4	1,947.6	5.2	994.7
Valle México centro	1,006.6	3.9	2,222.0	6.0	1,134.8
Valle México norte	947.2	3.7	2,090.9	5.6	1,067.9
Valle México sur	1,003.7	3.9	2,215.6	5.9	1,131.6
Promedio Simple	893.9	3.5	1,973.2	5.3	1,007.7

En resumen, la **Figura 4** presenta los resultados de los beneficios potenciales del uso de SFV en el sector doméstico por una capacidad instalada equivalente al 1% del total del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), lo cual beneficiaría a 860 mil hogares.

Figura 4 - Beneficios esperados con una contribución del 1% de los SFV al SEN.



4. Cuantificación de beneficios de la Eficiencia Energética.

Existen dos formas de lograr un incremento en la eficiencia energética: ahorrando energía, pues la energía más barata es la que no se utiliza, y usando únicamente la energía que es necesaria bajo las mejores prácticas y estándares que la tecnología puede ofrecer.

En este documento se presenta un análisis enfocado en el segundo caso, es decir, mediante la reducción en el consumo de energía eléctrica resultado de la sustitución de un conjunto o paquete de equipos existentes (iluminación, refrigeradores, equipo de aire acondicionado, ventiladores y lavadoras) en un millón de hogares representativos por otros más eficientes. En la mayoría de los casos, los equipos más eficientes ya se encuentran disponibles en México, aunque algunas veces a un costo mayor y con una penetración más baja en el mercado que los equipos considerados en la línea base. Sin embargo, el menor consumo de energía de estos equipos está demostrado que es costo-efectivo para los usuarios, por lo que no representan un costo neto a lo largo del tiempo.

A este fin se adoptó el modelo de cálculo desarrollado por el Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL, por sus siglas en inglés), el cual permitió efectuar un cálculo a nivel de hogares, usando la información demográfica y de saturación de equipos disponible.

4A. Metodología y descripción del modelo estándar

En este análisis se seleccionaron dos elementos para caracterizar los hogares representativos en México:

- Los hogares se encuentran divididos en 4 grupos principales de acuerdo al clima y a la urbanización, lo cual se considera como los dos parámetros que tienen mayor efecto en el consumo de energía eléctrica.
- La saturación de equipos corresponde a la información demográfica disponible en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH, 2014), elaborada y publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y ponderada de acuerdo con los factores asignados en esta misma Encuesta.

De esta forma, los hogares ubicados en comunidades con una población menor a 2,500 habitantes se consideran como “rurales”, mientras el resto se considera como zonas “urbanas”. Asimismo, las tarifas 1A – 1F del sector residencial en México se consideran como tarifas para climas “cálidos”, mientras que los usuarios en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) se asumen como independientes del tipo de clima en cada Estado y, por ende, no se consideran en dicha clasificación.

El consumo anual de energía eléctrica, es decir, la cantidad de energía que usan de forma individual los equipos en cada uno de los hogares, fue obtenido principalmente de la información proporcionada por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).⁵

En lo que respecta a los potenciales de ahorro de energía eléctrica, casi todos los equipos seleccionados cuentan con una Norma Oficial Mexicana de Eficiencia Energética, además de otras que ya forman parte del proceso de armonización con los estándares de Estados Unidos.⁶

Teniendo en cuenta la información anterior, es posible estimar los ahorros anuales de energía eléctrica que se pueden alcanzar como resultado de la adopción de un paquete de equipos eficientes en cada uno de los hogares y, posteriormente, ligarlo a los beneficios económicos en términos de las aportaciones gubernamentales otorgadas a cada usuario bajo el esquema tarifario vigente. De esta forma, el consumo o uso de energía por cada equipo i en cada grupo de hogares g y para cada escenario s se encuentra dado por la ecuación:

$$E_{s,g,i} = UEC_{s,g,i} \times n_{s,g,i}$$

Donde:

- $UEC_{s,g,i}$ es el consumo anual de energía eléctrica para cada equipo i en el grupo de hogares g y el escenario s .
- $n_{s,g,i}$ es la saturación para cada equipo i en el grupo de hogares g .
- El escenario s se refiere al escenario tendencial (BAU) o al de ahorros potenciales de energía eléctrica (EE).

El consumo de energía para los equipos en cada escenario se encuentra dado por la ecuación:

$$E_{s,g} = \sum_i E_{s,g,i}$$

Finalmente, los ahorros por cada uno de los hogares se encuentran dados por $E_{BAU} - E_{EE}$, es decir, el consumo de energía eléctrica en el escenario tendencial menos el consumo de energía eléctrica en el escenario con ahorros potenciales de energía eléctrica.

⁵ Para más detalle sobre los valores promedio utilizados se sugiere consultar el Anexo 1.

⁶ *Ibíd*em

Los valores promedio y principales supuestos usados en este análisis se presentan en la **Tabla 4**.

Tabla 4 – Valores promedio y principales supuestos utilizados en el análisis de EE.

Urbanización	Clima	Participación	No. de hogares	Número de equipos por hogar				
				Lámparas	Refrigerador	Aire acondicionado	Ventilador	Lavadora
Urbana	Cálido	32%	324,402	7.46	0.91	0.35	1.88	0.73
Urbana	Templado	46%	455,672	7.46	0.88	0.04	1.19	0.70
Rural	Cálido	10%	100,105	5.05	0.69	0.10	0.75	0.45
Rural	Templado	12%	119,821	5.05	0.67	0.01	0.25	0.45
Total/ promedio		100%	1,000,000	6.93	0.85	0.14	1.26	0.66

	Iluminación	Refrigerador	Aire acondicionado	Ventilador	Lavadora
Línea base	Algunas lámparas incandescentes, penetración baja de LED	Cumple con la NOM de 2012 (Ver Anexo 1)	Cumple con la NOM de 2012 (Ver Anexo 1)	Estándar voluntario (Ver Anexo 1)	Cumple con la NOM de 2012 (Ver Anexo 1)
Potencial de ahorro	50% lámparas fluorescentes compactas y 50% LED	Cumple con el estándar mínimo de desempeño energético en US (25% de potencial de ahorro)	Tecnología Inverter ⁷ (30% de potencial de ahorro)	Diseño de aspas y motor (30% de potencial de ahorro)	(25% de potencial de ahorro)

4B. Resumen de beneficios

4B-I. Beneficios para el Estado

Como se muestra en la **Tabla 5**, una sustitución de equipos en un millón de hogares en México podría ahorrar al Gobierno Federal alrededor de **600 millones de pesos** al año en aportaciones otorgadas a cada usuario bajo el esquema tarifario vigente. Si este ejercicio fuera escalado a la totalidad de usuarios residenciales (aproximadamente 35 millones), los beneficios podrían ser del orden de **21 mil millones de pesos** al año, mismos que podrían ser canalizados para la atención de otras prioridades de beneficio social.

Tabla 5 – Beneficios para el Estado derivado del análisis de EE.

Grupo de hogares	Aportación gubernamental	Ahorros por hogar		Hogares	Ahorros totales
	MXN\$/kWh	kWh	MXN\$	Miles	Millones MXN\$
Cálido	1.37	476.1	650.3	424.5	276.1
Templado	1.85	303.4	560.6	575.5	322.6
Total/ Promedio	1.64	376.7	619.0	1000.0	598.7

⁷ Esta tecnología permite controlar la velocidad del compresor, logrando con ello un menor consumo de energía eléctrica y un mayor confort en la temperatura de climatización de los espacios.

Es importante hacer notar que, a pesar de que los mayores ahorros de energía eléctrica se encuentran en los lugares con clima cálido, en términos de las aportaciones gubernamentales los mayores beneficios para el Estado se obtendrían en los lugares con clima templado, debido a que existe un mayor número de hogares.

4B-II. Beneficios para los usuarios

La **Tabla 6** muestra que en promedio el ahorro en el consumo de energía eléctrica, derivado de la sustitución de equipos en un hogar en México, sería del orden de **376.7 kWh**. De forma particular, el ahorro potencial para los hogares en zonas “urbanas” y clima “cálido” es de 536.8 kWh al año, alrededor de 2.6 veces más que el potencial en zonas “rurales” con clima “templado”, y aproximadamente 40% por arriba del promedio nacional. En la **Tabla 5** se puede observar también que los ahorros serían mayores en los hogares ubicados en clima “cálido” respecto a aquellos en clima “templado”, debido a la presencia de equipos de aire acondicionado. En promedio, el **ahorro por hogar es de alrededor de 619 pesos al año** y es 16% mayor en el clima “cálido” que en el “templado” (ver **Figura 5**).

Tabla 6 – Beneficios para el Usuario derivado del análisis de EE.

Urbanización	Clima	Ahorros por hogar (kWh/ año)					
		Lámparas	Refrigerador	Aire acondicionado	Ventilador	Lavadora	Total
Urbana	Cálido	195.1	71.4	199.1	48.5	22.7	536.8
Urbana	Templado	195.1	69.7	11.3	30.8	21.9	328.7
Rural	Cálido	131.9	54.2	59.9	19.5	14.2	279.6
Rural	Templado	131.9	53.0	1.9	6.5	14.2	207.4
Promedio ponderado		181.2	66.7	75.9	32.5	20.5	376.7

En términos del consumo per cápita de energía eléctrica en México (2,057 kWh al año), este incremento en la eficiencia energética representaría **una reducción del 18% del consumo anual** (ver **Figura 5**).

4B-III Beneficios ambientales

La sustitución de equipos en un millón de hogares en México permitiría reducir las emisiones de GEI en **550 mil toneladas** de CO₂ equivalente, así como una reducción de **281 millones de litros de agua** al año (ver **Figura 5**).

5. Conclusiones generales.

La generación de energía eléctrica con SFV y la sustitución de equipos y electrodomésticos por otros más eficientes, tiene beneficios a nivel colectivo y de forma individual. A nivel colectivo, el Estado podría obtener ahorros de **2,100 millones de pesos al año** en las aportaciones gubernamentales que otorga a los usuarios, a través de las tarifas de energía eléctrica vigentes en el sector residencial, además de preservar el medio ambiente mediante la reducción de **1.85 millones de toneladas** de CO₂ equivalente y de **961 millones de litros** de agua al año, asociados a la generación centralizada con combustibles fósiles (Ver **Figura 6**).

Asimismo, de forma individual tanto el Estado como los usuarios del sector residencial obtendrían ahorros importantes en el consumo de energía eléctrica por el uso de SFV y la implementación de medidas de EE. Como se muestra en la **Figura 6**, la complementariedad de

ambas medidas, permitirían una **reducción de hasta el 93% de la energía eléctrica** que un usuario promedio utiliza de la RGD al año. Por otro lado, un SFV al generar energía eléctrica en el punto de consumo, evita también tener que transportarla a grandes distancias a través de la Red Nacional de Transmisión (RNT) y las RGD, por lo que contribuye a reducir sus pérdidas técnicas y no técnicas.

La experiencia general y las mejores prácticas internacionales, muestran una tendencia al impulso a la generación limpia distribuida tanto como una forma de procurar ahorros a países donde la proporción de aportaciones gubernamentales es aún elevada, como también para lograr un avance en la democratización de la energía a través del empoderamiento del consumidor quien, con la información obtenida con las nuevas tecnologías de redes eléctricas inteligentes, puede adquirir un conocimiento preciso de los precios y los costos de la energía y transitar de ser un consumidor pasivo de electricidad a un generador activo con fuentes limpias y sustentables.

Figura 5 - Beneficios esperados de la sustitución de equipos en un millón de hogares en México.

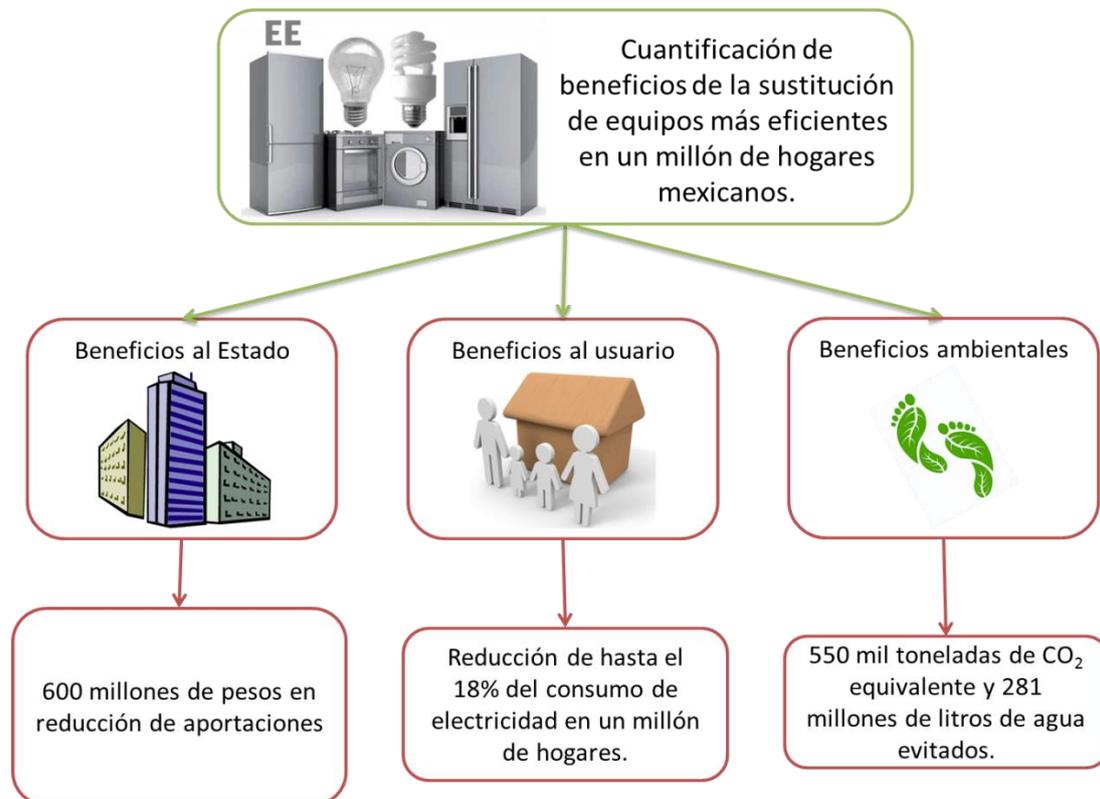
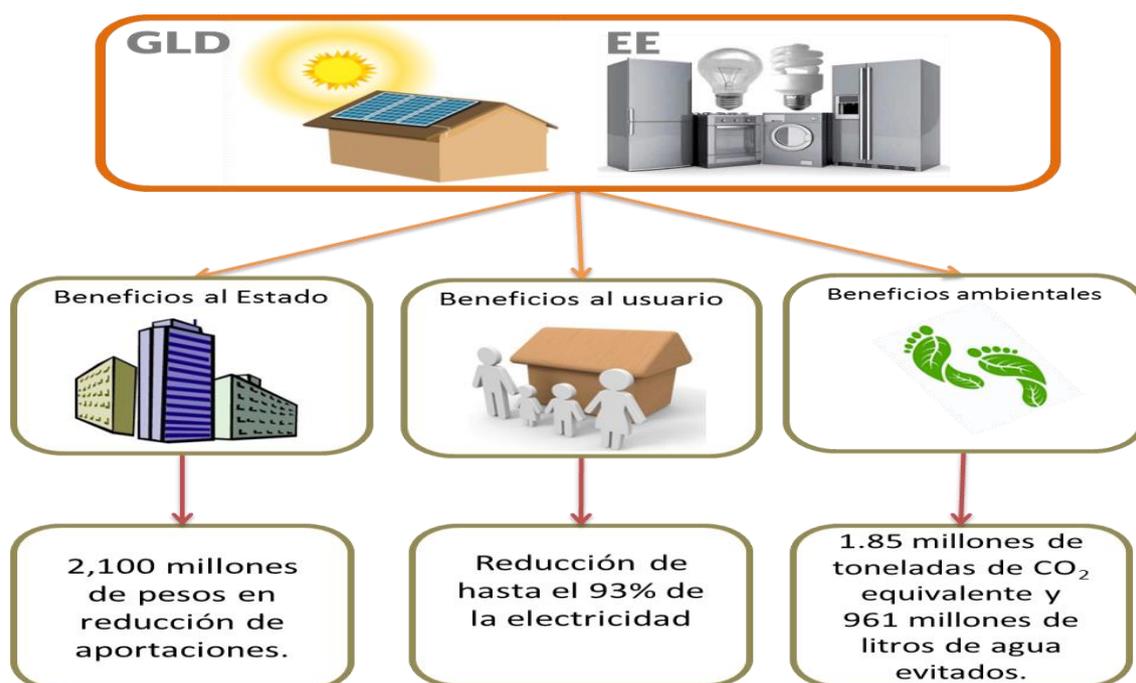


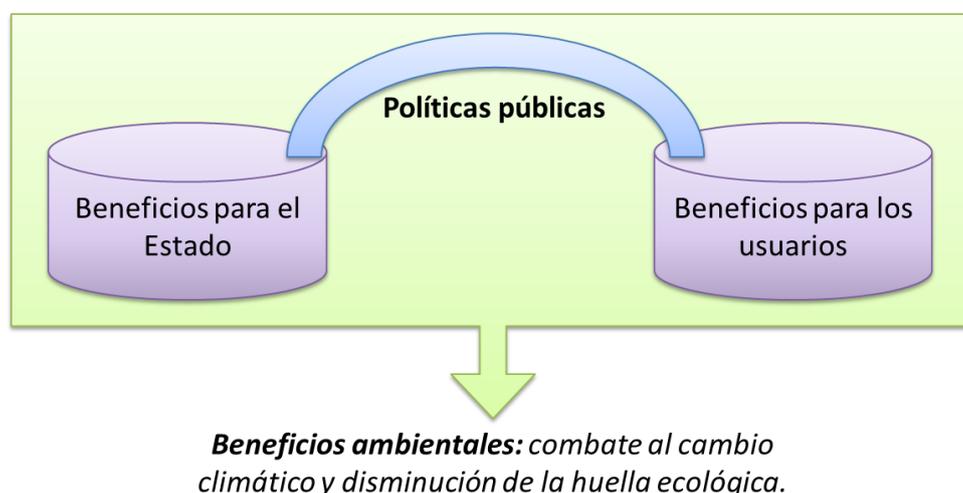
Figura 6 - Resumen de beneficios GLD y EE.



No obstante, en términos económicos es necesario todavía mejorar la rentabilidad desde la perspectiva del usuario. En el caso de los SFV, el periodo de recuperación de la inversión que varía entre 15 y 21 años todavía es muy alto para asumir que el propio mercado sería suficiente para acelerar su adopción en el corto y mediano plazo. Del mismo modo, el ahorro promedio de 620 pesos al año, es todavía insuficiente para por sí solo hacer frente a la inversión requerida para sustituir un paquete de equipos y electrodomésticos más eficientes.

Es por esta razón que la transición hacia la GLD y la promoción de la EE requerirán de nuevas políticas públicas que impulsen mecanismos de apoyo y/o estímulos económicos, donde el Estado pueda compartir sus beneficios con los usuarios y así fomentar la inversión en estos sistemas y equipos. Una política pública bien sustentada, puede significar un puente entre los beneficios para el Estado y para los usuarios (Figura 7). De no ser así, su penetración en el mercado será muy lenta, y los beneficios ambientales y sociales no podrán observarse en el corto y mediano plazo.

Figura 7 - Beneficios colectivos a nivel Estado, usuario y ambiente.



Finalmente, para fortalecer el conocimiento en torno a la GLD y como complemento de este primer análisis, se sugiere una serie de trabajos futuros orientados a los siguientes temas: beneficios económicos y técnicos al suministrador; el estudio de otros mercados para la GLD (usuarios de tarifas comercial e industrial), así como usuarios de la tarifa DAC en el sector residencial; análisis técnico-económico de otras tecnologías de GLD; estudios eléctricos y de confiabilidad de las Redes Generales de Distribución; estudio sobre los patrones de consumo de los usuarios; la situación de las tarifas eléctricas y las aportaciones del Estado, entre otros.

En cuanto al análisis de EE, a futuro se requiere analizar con mayor profundidad los patrones de uso de los hogares mexicanos, por ejemplo, horas de uso de iluminación, aire acondicionado, número de ciclos por día para las lavadoras, etc. Del mismo modo, los potenciales de ahorro asociados a la mejora en los consumos de energía eléctrica, se encuentran sujetos a un alto grado de incertidumbre.

Bibliografía

Cámara de Diputados. LXIII Legislatura. CONSTITUCIÓN Política de los Estados Unidos Mexicanos. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum.htm> (Fecha de consulta: 13 de marzo de 2017).

Comisión Federal de Electricidad. Subdirección de Distribución. Comunicación personal septiembre de 2016. Información sobre el consumo de energía eléctrica por tarifas domésticas en las diferentes zonas de distribución.

Comisión Federal de Electricidad. Subdirección de Programación. Comunicación personal septiembre de 2016. Subsidios promedio a las tarifas eléctricas domésticas para los años 2014 y 2015.

Comisión Reguladora de Energía. Unidad de Sistemas Eléctricos. Comunicación personal marzo de 2017. Contratos de Interconexión en Pequeña y Mediana Escala: Estadística ejercicio 2016.

Diario Oficial de la Federación. 11 de agosto de 2014. DECRETO por el que se expiden la Ley de la Industria Eléctrica, la Ley de Energía Geotérmica y se adicionan y reforman diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014 (Fecha de consulta: 13 de marzo de 2017).

Diario Oficial de la Federación. 24 de diciembre de 2015. DECRETO por el que se expide la Ley de Transición Energética. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015 (Fecha de consulta: 13 de marzo de 2017).

Diario Oficial de la Federación. 2 de diciembre de 2016. ACUERDO por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la primera Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, en términos de la Ley de Transición Energética. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5463923&fecha=02/12/2016 (Fecha de consulta 13 de marzo de 2017).

National Renewable Energy Laboratory. System Advisory Model (SAM). Disponible en: <https://sam.nrel.gov/> (Fecha de consulta 13 de marzo de 2017).

Anexo 1 Valores promedio utilizados para estimar los potenciales de ahorro de energía eléctrica

La saturación de equipos en hogares en México presenta las características siguientes:

- Una vivienda cuenta en promedio con 7 lámparas; las zonas “urbanas” cuentan con 50% más unidades que en las zonas “rurales”. La iluminación no muestra una dependencia significativa con el tipo de clima.
- Alrededor de 85% de los hogares cuentan con un refrigerador, de los cuales el 90% se encuentra en zonas “urbanas” y dos terceras partes en zonas “rurales”. No se observa una dependencia significativa con el tipo de clima.
- Únicamente 14% posee equipos de aire acondicionado, pero existe una dependencia significativa con ambos, el tipo de clima y la urbanización. Las zonas “urbanas” con “climas cálidos” tienen 35% mayor probabilidad de contar con uno de estos equipos, mientras que en las zonas “rurales” es solo del 1%.
- Los ventiladores son muy comunes; en promedio cada hogar cuenta por lo menos con un ventilador. Al igual que los equipos de aire acondicionado, existe una dependencia significativa con el clima y la urbanización, pero con una saturación hasta 8 veces mayor en zonas “urbanas” con climas “cálidos” que en zonas “rurales” con climas “templados”.
- Las lavadoras son equipos muy comunes, con una dependencia significativa en la urbanización, pero no con el clima.

El consumo de energía eléctrica en hogares en México presenta las características siguientes:

- Iluminación – se asume un uso de 5 horas al día por este concepto, mismo que al ser multiplicado por el consumo unitario de la TCEEE (Tabla de Consumos de Energía Eléctrica de Electrodomésticos) nos da como resultado un consumo anual de energía eléctrica de 109.5, 27.4 y 16.4 kWh por el uso de lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes compactas y de LEDs, respectivamente (asumiendo un consumo individual de 60, 15 y 9 W, respectivamente).
- Refrigeradores – se asume un consumo promedio anual de 393.7 kWh. No se consideran diferentes clases y tamaños de refrigeradores, ni los efectos en el consumo de energía eléctrica relacionados con el tipo de clima.
- Equipo de aire acondicionado – se asume un consumo promedio anual de 3,024 y 2,821 kWh para equipos tipo ventana y divididos (o minisplit), respectivamente. Esta cifra considera los valores reportados en la TCEEE, teniendo un consumo mensual de 432 kWh y 403 kWh por mes para un equipo típico de 1.5 toneladas. La saturación de equipos se asume en 30% para los equipos tipo ventana y de 70% para los equipos de aire divididos, además de una temporada de uso de 7 meses para los “climas cálidos”, mientras que solo de la mitad de este periodo para el caso de “climas templados”.
- Ventiladores – se asume a los ventiladores de techo sin lámparas como la tecnología representativa, misma que tiene un consumo de energía de 16 kWh por mes y de acuerdo a lo indicado en la TCEEE. Adicionalmente, se asume una temporada de uso de 7 meses para todos los hogares.
- Lavadoras – se asume un consumo de energía mensual de 13 kWh, de acuerdo a lo indicado en la TCEEE. Adicionalmente, se asume un uso constante durante el año, independientemente del tipo de clima, para un consumo anual de energía eléctrica de 156 kWh.