

COLECCIÓN

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FASCÍCULO 7

ENERGÍA ASEQUIBLE
Y NO CONTAMINANTE



OBJETIVO 7

GARANTIZAR EL ACCESO A LA ENERGÍA ASEQUIBLE,
SEGURA, SOSTENIBLE Y MODERNA PARA TODOS

SUSTAINABLE DEVELOPMENT KNOWLEDGE PLATFORM
sustainabledevelopment.un.org

Odón de Buen Rodríguez
Octavio García Valladares



COMISIÓN NACIONAL DE LOS DERECHOS HUMANOS

FASCÍCULO 7
OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 7



**Garantizar el acceso a la energía asequible,
segura, sostenible y moderna para todos**



2018

Primera edición: agosto, 2018

ISBN: 978-607-729-396-5 (Colección)

ISBN: 978-607-729-456-6 (Fascículo 7)

© Comisión Nacional de los Derechos Humanos

Periférico Sur 3469,
Col. San Jerónimo Lídice,
C. P. 10200, Ciudad de México.

Compilación y revisión:
Helen Patricia Peña Martínez
Efraín Nieves Hernández

Diseño de forros y formación de interiores:
Flavio López Alcocer

Impreso en México

Contenido

PRESENTACIÓN	5
GARANTIZAR EL ACCESO A LA ENERGÍA ASEQUIBLE, SEGURA, SOSTENIBLE Y MODERNA PARA TODOS	
INTRODUCCIÓN	11
LOS DERECHOS ASOCIADOS AL USO DE LA ENERGÍA EN MÉXICO ESTABLECIDOS EN LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	13
LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	15
LA ENERGÍA Y SUS USOS	17
FORMAS DE ENERGÍA	19
OFERTA Y RECURSOS ENERGÉTICOS DE MÉXICO	23
PREOCUPACIONES AMBIENTALES ASOCIADAS AL USO DE LA ENERGÍA	27
CONSUMO DE ENERGÍA DE HOGARES EN MÉXICO	29
SERVICIOS ENERGÉTICOS POR REGIONES Y POR NIVEL DE INGRESO EN MÉXICO	33
EQUIPAMIENTO Y ELEMENTOS DE LAS VIVIENDAS QUE DETERMINAN EL CONSUMO ENERGÉTICO	35
NIVELES DE GASTO EN ENERGÍA EN LOS HOGARES DE MÉXICO	37
EL PAPEL Y EL EFECTO DE LAS POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	39

CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
SOBRE EL AUTOR	47
ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE	
INTRODUCCIÓN	51
SITUACIÓN MUNDIAL	52
SITUACIÓN NACIONAL	53
PROBLEMÁTICA	55
ENERGÍA SOLAR	56
ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	57
APLICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS TERMOSOLARES	62
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	64
ENERGÍA EÓLICA	67
ENERGÍA HIDRÁULICA	71
TECNOLOGÍA QUE SE EMPLEA EN LAS "MICRO Y MINI CENTRALES-HIDROELÉCTRICAS"	73
ENERGÍA OCEÁNICA POR CORRIENTES Y MARES	75
ENERGÍA GEOTÉRMICA	77
RECURSO DE BIOMASA	83
CONCLUSIONES	91
AGRADECIMIENTOS	92
SOBRE EL AUTOR	93
APÉNDICE: METAS DEL OBJETIVO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE 7	94

PRESENTACIÓN

El desarrollo y protección de los derechos humanos han experimentado un impulso sin precedentes en el ámbito internacional. Nuestro tiempo ha sido testigo de ello. Este avance se materializa mediante programas que cuentan con el apoyo y compromiso de la comunidad internacional y que, sobretodo, involucran objetivos y metas claras y precisas, además de tiempos establecidos para su cumplimiento.

Dos importantes iniciativas impulsadas y promovidas desde la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para todo el mundo, son muestra de este positivo avance. Inicialmente, en los albores del presente siglo, en pleno año 2000, los dirigentes de todo el mundo reunidos en la ONU, aprobaron la Declaración del Milenio, comprometiéndose con una nueva alianza mundial y estableciendo una serie de ocho objetivos sujetos a plazo determinado de cumplimiento en 2015, mismos que se conocieron como los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y que se relacionan a continuación:

1. Erradicar la pobreza extrema;
2. Lograr la enseñanza primaria universal;
3. Promover la igualdad entre los sexos y el empoderamiento de la mujer;
4. Reducir la mortalidad de los niños menores de cinco años;
5. Mejorar la salud materna;
6. Combatir el VIH-SIDA, la malaria y otras enfermedades;
7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, y
8. Fomentar una alianza mundial para el desarrollo.

Los ODM demostraron que, con objetivos claros, estrategias bien definidas, recursos adecuados, políticas públicas bien dirigidas a grupos específicos y voluntad política, se puede mejorar la vida de las personas. Sus resultados fueron importantes y el mundo avanzó en temas decisivos como reducir a la mitad las tasas de pobreza extrema, la mortalidad infantil y la incidencia de malaria; asimismo, se avanzó en controlar enfermedades como el sarampión y la propagación del VIH; se registraron avances en tuberculosis, cuidados prenatales para las mujeres, acceso al agua potable, aumentó la matriculación de niñas y niños en la enseñanza primaria; remisión en la tasa de deforestación; así como en la disminución de la carga de la deuda de los países en vías de desarrollo, entre otras.

Pero faltó, por ejemplo, avanzar aún más en erradicar el hambre, alcanzar la educación universal, la igualdad entre hombres y mujeres en ámbitos como el laboral, reducir la mortalidad materna y la cantidad de embarazos en adolescentes, detener el cambio climático y fomentar la conservación de la biodiversidad.

La Asamblea General de las Naciones Unidas decidió capitalizar los logros alcanzados con los ODM e ir por más; de manera que el 25 de septiembre de 2015, en el marco de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, se materializó el segundo impulso a que nos estamos refiriendo con la adopción de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, con el objetivo de establecer un plan de acción que guiará su proceder y ampliará su abanico de preocupación y ocupación por proteger a las personas y al planeta, al tiempo que se fortalece la paz universal y el acceso a la justicia. Dicha "Agenda 2030" incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas que integran las dimensiones económica, social y ambiental, con el objetivo de llevar a nuestro planeta por la senda de la prosperidad, la sostenibilidad y la igualdad para todas y todos.

Si bien, los ODM encarnaron derechos humanos básicos y clásicos como la salud, la educación, la vivienda y la seguridad, ahora los Objetivos de Desarrollo Sostenible amplían el catálogo de

derechos humanos a proteger, a sectores tales como los efectos producidos por el cambio climático; las ciudades y asentamientos inseguros; las sociedades violentas; la energía asequible y no contaminante; el trabajo decente; la industria, innovación e infraestructura, y la reducción de las desigualdades, entre otros. Ampliación de derechos que no sólo obliga a gobiernos a revisar la forma de protegerlos, sino que nos convoca a muy variados sectores de la sociedad a unir esfuerzos para su consecución.

Las Instituciones Nacionales de Promoción y Protección de los Derechos Humanos (INDH), en general y la Comisión Nacional de los Derechos Humanos, en particular, no escapamos a la responsabilidad que nuestro tiempo y la situación mundial nos exige para luchar por su bienestar, de acuerdo con nuestra misión de proteger, observar, promover, estudiar y divulgar los derechos humanos que ampara el Derecho Internacional de los Derechos Humanos.

Las INDH hicieron suyos los ODS en su Décimo Segunda Conferencia Internacional del Comité Internacional de Coordinación de INDH, donde 50 ombudsman se comprometieron, en la Declaración de Mérida, a trabajar desde sus países para monitorear el cumplimiento de esta agenda y a favor de que sus gobiernos establezcan programas para su cumplimiento, teniendo en cuenta la protección de los derechos humanos.

La globalización y los efectos mundiales de las afectaciones regionales o locales de los derechos humanos, nos impone, hoy más que nunca, unir esfuerzos en pro de los derechos humanos no de un país o de una región, sino de todo el mundo, de manera universal, interdependiente, indivisible y progresiva. Si los efectos de los fenómenos meteorológicos que se vuelven cada vez más frecuentes, intensos y, desafortunadamente, más destructivos y mortíferos, no reconocen nacionalidad ni de origen ni de afectación, los esfuerzos y el trabajo conjunto tampoco lo pueden hacer. Debemos repensar con mayor contundencia nuestra contribución a la prevención y reducción de las condiciones mundiales que favorecen tales fenómenos de-

vastadores para la humanidad. Sólo así, contribuiremos al cuidado de nuestra “casa común”, nuestro planeta.

En México, los temas que conforman los ODS hacen necesario legislar para garantizar que se privilegie la prevención, se generen políticas públicas y se definan acciones coordinadas entre múltiples actores, para construir con responsabilidad una agenda para su cumplimiento y satisfacción plena para todas y todos los mexicanos, donde nadie se quede afuera, donde nadie se quede atrás.

Así lo corroboraron representantes de Organizaciones Internacionales, Instituciones Gubernamentales, Organizaciones No Gubernamentales Internacionales y Académicos que, convocados por la CNDH, se reunieron en Guanajuato, durante la realización del Seminario Internacional Los Derechos Humanos: de los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.¹

En la Comisión Nacional de los Derechos Humanos, los ODS se han convertido en lineamiento y guía del trabajo en favor de los derechos humanos en nuestro país.

Confiamos lo sea también para el Gobierno mexicano, para la iniciativa privada, para los académicos e investigadores y para la sociedad en general. Es nuestro deseo contribuir, mediante esta Colección “Objetivos de Desarrollo Sostenible”, a través de sus 17 fascículos, a identificar áreas de atención y soluciones en los distintos temas, mediante la investigación de análisis, prospectiva y aportación que nos ofrece la experiencia de las y los autores que hemos convocado, para abonar en favor del cabal cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Luis Raúl González Pérez
Presidente de la Comisión Nacional
de los Derechos Humanos

¹ CD de la Memoria del Seminario Internacional Los Derechos Humanos: de los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Comisión Nacional de los Derechos Humanos, Ciudad de México, octubre, 2016.

Garantizar el acceso a la energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos

ODÓN DE BUEN RODRÍGUEZ

Introducción

Disponer de fuentes de energía de bajo costo y dispositivos que la transforman en luz, calor, frío o movimiento, de manera que no sea demasiado costosa, ha sido uno de los factores más importantes para el desarrollo de la humanidad, muy particularmente en los últimos dos siglos.

Desde que se generalizó el uso del carbón en Inglaterra para obtener calor para industrias y hogares, hasta la actual generalización del uso de celdas solares para proveer de la electricidad que hace funcionar lámparas y todo tipo de equipos comunes en nuestros tiempos, la humanidad ha transformado —con ayuda de esa energía— los espacios donde habita, su entorno natural, la economía, las costumbres y su vida cotidiana.

Esta evolución, que pasa por la aparición y generalización del uso del petróleo, la electricidad, el gas natural, la energía nuclear y las energías renovables modernas, ha permitido que los seres humanos podamos tener actividades nocturnas, habitar en lugares de climas extremos, mantener alimentos frescos por meses, moverse masivamente y por decenas de kilómetros al día, así como comunicarse a casi cualquier punto del mundo con dispositivos que se llevan en el bolsillo.

Sin embargo, este progreso extraordinario ha tenido un alto costo en muchos ámbitos, desde la calidad del aire local en las ciudades, hasta la modificación de la química de la atmósfera que todos compartimos, con la trayectoria actual de uso de ciertos energéticos que han alimentado nuestro desarrollo —y sus emisiones de gases de efecto invernadero— como una

amenaza que puede, si no se detiene o matiza, modificar de manera irreparable el delicado balance que permite la vida en el único planeta que tenemos como especie.

Bajo esta perspectiva, el propio ingenio humano ha empujado un extraordinario desarrollo tecnológico que ha permitido enfrentar retos similares (aunque no del mismo alcance) en el pasado y que, aprovechado adecuadamente y con la rapidez y amplitud que las circunstancias requieren, ha logrado que la humanidad viva en un mejor y mayor balance con su entorno natural que asegura su supervivencia en el largo plazo.

Por lo mismo, bajo principios que incluyen la defensa de derechos humanos básicos, pero también empujados por el motor del ingenio humano y de la fuerza de la economía, en el mundo y en México se avanza para que no sólo la energía sea limpia y asequible, sino que también los servicios que ésta provee estén al alcance de todos.

Los derechos asociados al uso de la energía en México establecidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, como máximo instrumento del pacto social de los mexicanos, define, en su artículo 4o., los derechos que están asociados, directa o indirectamente, a la producción, transformación y uso final de energía:

- Derecho al medio ambiente adecuado: Es el derecho a disfrutar de un entorno ambiental seguro para el desarrollo y tiene, como contrapartida, el deber de conservarlo y la obligación del Estado de velar por una utilización racional de los recursos naturales.
- Derecho a una vivienda digna: La Suprema Corte de Justicia de la Nación estableció que el contenido del derecho fundamental a una vivienda digna y decorosa no se agota con la infraestructura básica adecuada de aquella, sino que debe comprender el acceso a los servicios públicos básicos, como lo es el de electricidad.
- Derecho a la salud: La protección del derecho a la salud supone la regulación de los servicios de salud en el ámbito interno y los mecanismos que hagan efectiva esa regulación, además las autoridades deben tomar todas las medidas necesarias para salvaguardar la salud.
- Derecho al agua: Es un derecho humano el acceso al agua para consumo personal y doméstico, y ese acceso debe ser en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible, garantizada por el Estado y que debe entenderse

para usos, como el agrícola o para el funcionamiento de otras áreas productivas del sector primario, por su vinculación con otros derechos humanos, como a la alimentación y a la salud.

Los artículos 25 y 26 de la Constitución establecen también que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que este sea integral y sustentable, para lo cual el Estado planeará y orientará la actividad económica nacional. Dicha organización se hará en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática, que es la base del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 de la presente administración, así como de los planes y programas que de él derivan.

Existen dos principios plasmados en el artículo 25 de la Constitución. El primero se expresa en su fracción 7, y establece que bajo criterios de equidad social, productividad y sustentabilidad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) también conocidos como Objetivos Mundiales y que se gestaron en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro en 2012, son un “llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad” (PNUD 2018).

Estos 17 Objetivos “se basan en los logros de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, aunque incluyen nuevas esferas como el cambio climático, la desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible y la paz y la justicia, entre otras prioridades” (PNUD 2018).

Entre esos objetivos se encuentra el de Energía Asequible y Sostenible, por el que se define la necesidad de invertir en fuentes de energía limpia y la adopción de regulaciones orientadas a la eficiencia energética.

La energía y sus usos

La energía se presenta, se puede transformar o se puede utilizar para tener luz, calor, frío y fuerza motriz para una gran variedad de servicios energéticos:

- En forma de luz, como un elemento indispensable en las actividades cotidianas al permitir actividades nocturnas o en condiciones de baja luminosidad natural al interior de espacios de convivencia y actividad económica.
- En forma de calor, para elevar la temperatura del agua, de fluidos en general y del aire, lo cual, a su vez, puede ser aprovechado para cocción de alimentos, para actividades de higiene, para procesos industriales de transformación de materiales y para el confort en regiones de climas extremos.
- Producido frío a través de dispositivos para mantener bajas temperaturas constantes y por largos períodos de tiempo en recipientes o espacios de convivencia y trabajo, lo que permite la conservación de productos, su procesamiento y/o transformación, y para el confort en espacios cerrados en zonas cálidas.
- En forma de fuerza motriz, lo que permite mover fluidos (aire, agua o aceites) en canales y ductos, mover grandes objetos verticalmente (en elevadores o grúas), mover vehículos (terrestres, marítimos y aéreos), y permite transformar materiales en productos útiles.

Estas transformaciones son posibles a partir de energía en diversas formas disponible en la naturaleza o en el mercado, ya sean como combustibles, electricidad o a partir de energía renovable.

Formas de energía

Las formas de energía que son utilizadas para obtener servicios energéticos se pueden clasificar en fósiles y no fósiles.

Las fósiles son aquellas que resultan de un largo proceso de transformación de la energía que proviene del Sol, que se transforma en flora y fauna y se deposita, por poderosos procesos geológicos, en el interior de la corteza terrestre en forma de sólidos, líquidos y gases.

Las no fósiles son aquellas que recibimos del Sol y que aprovechamos en forma relativamente rápida, o las que están contenidas en materiales radioactivos presentes en la corteza terrestre.

Las energías fósiles se aprovechan directamente o como resultado de procesos de separación y son aprovechados como combustibles que, a una temperatura relativamente alta y a presión atmosférica, tienen una reacción química con los elementos contenidos en el aire (en particular el oxígeno), la cual produce calor a altas temperaturas, luz y una serie de compuestos químicos resultado de esa transformación. Así, la luz y el calor se pueden obtener de manera directa a partir de tres formas en las que se presentan los combustibles:

- **Sólidos.** Incluye la leña, el carbón y las velas.
- **Líquidos.** Kerosene, diésel, gasolina, combustóleo y bioetanol.
- **Gaseosos.** Gas licuado de petróleo (GLP), gas natural y el biogás.

A su vez, el calor o la expansión que resulta de la combustión pueden servir para mover fluidos u objetos en cualquier dirección.

Como energía no fósil, la energía renovable es aquella que se obtiene de fuentes que, o se reproducen a tasas que hacen suponer su permanencia por un periodo considerable de tiempo en condiciones razonables de uso, o su abundancia es tal que su existencia se prevé para cientos o miles de años. En particular, se identifican cinco formas específicas:

- **Solar.** Es la que proviene directamente del Sol, que suministra luz y calor, y que se puede convertir en electricidad de varias maneras.
- **Eólica.** Es la que está contenida en el aire en movimiento (viento) y que se puede convertir en fuerza motriz o en electricidad.
- **Hidráulica.** Es la que está contenida en el agua en movimiento sobre la superficie terrestre o la que, de manera potencial, está contenida en un volumen de agua a una cierta altura y que entrega la energía al desplazarse a un nivel inferior. Como la energía del viento, se puede convertir en fuerza motriz o en electricidad.
- **Bioenergía.** Es, fundamentalmente, la energía almacenada en las plantas como resultado de la fotosíntesis, que es el proceso por el cual la energía solar se transforma en energía química que es contenida en las plantas. La bioenergía puede tener forma de (o ser convertida en) combustible sólido, líquido o gaseoso, a partir de lo cual se puede obtener luz, calor y electricidad.
- **Geotermia.** La geotermia es energía en forma de calor que proviene del interior de la Tierra. Este calor puede ser aprovechado para generar electricidad o para otros propósitos.

La importancia de las energías renovables radica en dos aspectos principales:

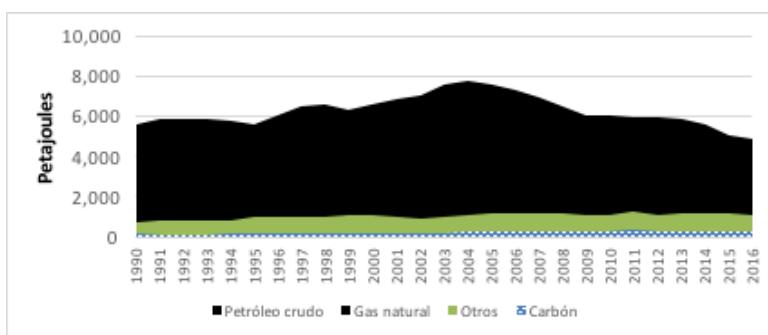
- Su aprovechamiento y su sustitución de combustibles fósiles ha sido gradual y paulatina, pero de gran significación estratégica, dado que los combustibles fósiles tienen una expectativa de uso finito;
- No generan o diseminan contaminantes al medio ambiente, más bien contribuyen al mejoramiento del entorno ecológico y coadyuvan al desarrollo sustentable.

Por su uso, las energías renovables participan en tres formas de aplicación general en nuestras actividades cotidianas: en la generación de energía eléctrica, en aplicaciones térmicas en el sector residencial y en la industria, y en combustibles para el transporte.

Oferta y recursos energéticos de México

México es un país rico en recursos energéticos renovables y no renovables, aunque tiene una gran dependencia de combustibles fósiles, cuya producción (incluyendo lo que se exporta) ha venido declinando desde 2004 (Fig. 1).

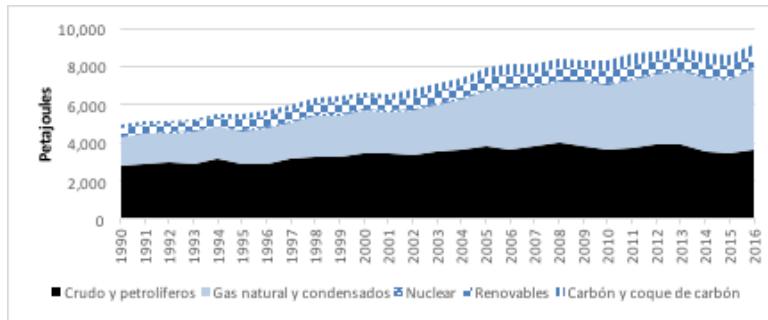
Figura 1. Producción de energía primaria de México (1990-2016) (Petajoules)



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida del Sistema de Información Energética de la Sener.

En la actualidad, la oferta interna de energía (lo que consumimos en el país) está dominada por el petróleo y el gas natural, el cual ha venido creciendo en importancia en las últimas dos décadas (Fig. 2).

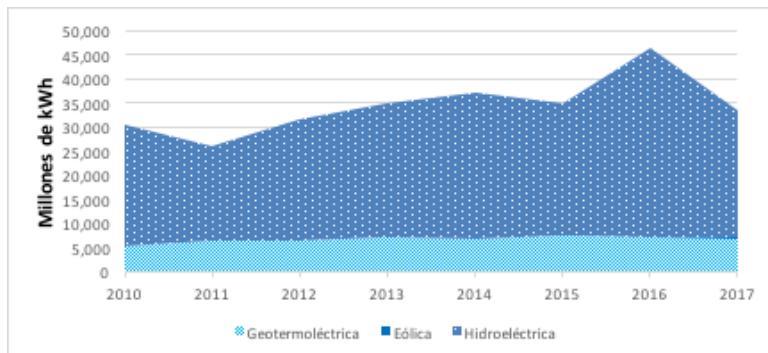
Figura 2. Oferta interna bruta total por energético (1990-2016) (Petajoules)



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida del Sistema de Información Energética de la Sener.

A su vez, la generación de electricidad con energías renovables se ubica en los últimos años en el rango de los 35 mil millones de kWh, lo que representa cerca del 14% de la generación bruta total y con predominio de la energía hidráulica (Fig. 3).

Figura 3. Generación bruta de energías renovables en México (2002-2016) (GWh)



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida del Sistema de Información Energética de la Sener.

En términos de su potencial posible, y solamente para la geotérmica, hidráulica y eólica, las energías renovables pueden servir para generar cerca de diez veces lo que actualmente se produce con ellas en forma de electricidad (Tabla 1).

Tabla 1. Potencial de generación eléctrica con energías renovables en México, 2016 (GWh/año)(SENER 2017)

Recursos	Geotérmica	Hidráulica	Eólica	Solar	Biomasa
Probado	2,610	4,920	20,104	25,052	3,326
Probable	45,207	23,028	-	-	680
Possible	52,013	44,180	87,600	6,500,000	11,485

Ahora bien, si se incluye lo que es técnicamente posible generar con tecnología fotovoltaica, esta proporción es significativamente mayor, lo que implica que, sin consideraciones económicas y los aspectos técnicos relacionados a su intermitencia, toda la electricidad que necesitamos puede venir del Sol.

Por lo mismo, estos potenciales han permitido que en México se hayan establecido, a través de la *Ley de Transición Energética*, metas de generación de electricidad con energías limpias, con 35% al 2024; de 37.7% al 2030 y del 50% de la generación eléctrica total al 2050 (Congreso de la Unión 2015).

Preocupaciones ambientales asociadas al uso de la energía

Las preocupaciones ambientales por los impactos de los patrones actuales de producción, transformación y uso final de energía son motor central de políticas públicas locales, nacionales e internacionales.

En las principales ciudades del mundo, los efectos del uso masivo de combustibles fósiles en la calidad del aire y sus impactos en la salud de las personas son motivo de un amplio conjunto de políticas públicas, que incluyen la regulación de las emisiones de vehículos nuevos, mejorar la calidad de los combustibles utilizados en el transporte, monitorear las emisiones y limitar la circulación de los vehículos más contaminantes, entre otras, lo que ha llevado a modificar esquemas de movilidad y de decisiones de inversiones en infraestructura.

A su vez, la evidencia creciente de los efectos del cambio climático resultado de la elevación de las concentraciones promedio de gases de efecto invernadero en la atmósfera, ha llevado a acuerdos internacionales que se reflejan en compromisos nacionales para limitar y/o reducir las emisiones de estos gases en el sector energético.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) señala, en particular, dos riesgos que pueden tener impactos desastrosos en las ciudades por el cambio climático en América Latina, y que serán de diferentes magnitudes y con efectos heterogéneos entre cada uno de los países de la región (Galindo 2009):

- En general, el cambio climático ocasionará presiones adicionales sobre los recursos hídricos de la región, a causa de las alteraciones en los ciclos de precipitación, la elevación de las temperaturas y el aumento de la demanda de agua.
- La evidencia disponible sobre la ocurrencia de eventos extremos, como las lluvias intensas, los períodos secos prolongados y las ondas de calor, indica que la modificación de sus patrones de frecuencia e intensidad repercutirá en un incremento de los costos asociados con su atención.

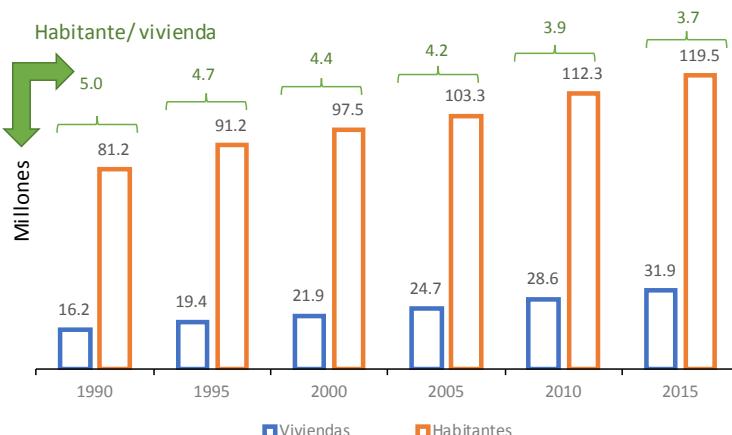
Por lo mismo, las acciones que se lleven a cabo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por la producción, transformación, transporte y uso final de energía son de gran relevancia para limitar y reducir los riesgos asociados al cambio climático.

Consumo de energía de hogares en México

Los hogares demandan energía para cubrir servicios energéticos básicos, que incluyen los asociados a la alimentación (para almacenamiento y cocción de alimentos), la higiene (para el manejo de agua y su calentamiento), la convivencia en el interior de las viviendas (principalmente, iluminación), el confort térmico (calefacción y/o refrigeración) y el entretenimiento (radio y televisión). Para ello, cuentan con equipos que permiten la transformación de la energía, eléctrica o térmica, en servicios energéticos.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), México contaba con 81.2 millones de habitantes en 1990, distribuidos en cerca de 16.2 millones de viviendas (INEGI 2011). Veinticinco años después, la cantidad de viviendas habitadas casi se duplicó, llegando a 31.9 millones, en tanto que la población se incrementó en cerca del 50 por ciento. Esta evolución ha venido acompañada por una reducción del número promedio de habitantes por vivienda en el país, pasando de 5 personas en 1990 a 3.7 en 2015 (Fig. 4).

Figura 4. Población, viviendas habitadas y relación de habitante por vivienda en México, 1990-2015



Fuente: Elaboración propia con base en Censos y conteos de población y vivienda (INEGI, 1990-2015).

Este proceso ha coincidido con un incremento del nivel de electrificación del país, incrementando el nivel de acceso a energéticos modernos. Mientras que a mediados de los noventa, cerca del 95 por ciento de los hogares tenía acceso a la electricidad, para 2016 la cobertura llegaba ya al 99.5 por ciento (INEGI, 1994 y 2016).

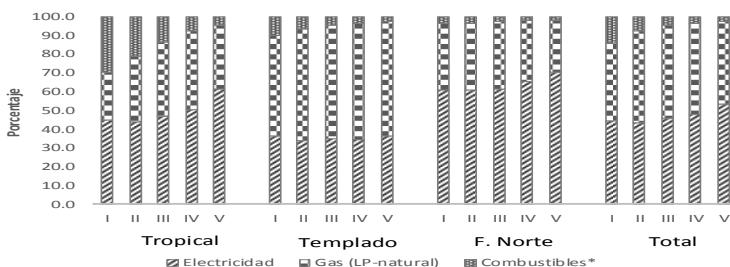
A su vez, en el acceso del gas (LP o natural) utilizado para cocción de alimentos y calentamiento de agua para higiene, existe una mayor heterogeneidad entre las regiones. En este sentido, en los estados de la frontera norte se tiene el mayor acceso a gas, manteniendo un promedio de 94 por ciento de los hogares en los últimos veinte años. A esta región le sigue la de clima templado (fundamentalmente, el centro del país) que pasó de 87.7 por ciento en 1996 a 89.8 por ciento en 2016 (INEGI 1996 y 2016). Los rezagos más significativos se ubican en el sur del país, cuyo nivel de acceso al gas viene cayendo

drásticamente. En esta región se encuentran estados con alto nivel de pobreza en general, que genera altos índices de uso de leña obtenida por recolección local, carbón vegetal o destilados del petróleo, usados para satisfacer requerimientos energéticos en la cocción de alimentos. Así, mientras que en 1996 el 64.4 por ciento de los hogares tenía acceso a algún tipo de gas para cocinar, este indicador bajó a 59.3 por ciento en 2016 (INEGI, 1996 y 2016).

Servicios energéticos por regiones y por nivel de ingreso en México

La composición del gasto energético de los hogares por fuente de energía y su nivel de consumo refleja la demanda particular de servicios energéticos en cada región y por niveles de ingreso de las familias. Así, en la región de los estados del sur el peso del gasto por consumo de energía varía significativamente entre quintiles de ingreso, donde las familias de menores ingresos cubren una parte significativa de sus servicios energéticos (específicamente las de cocción) con biomasa, mientras que los de mayores ingresos gastan un porcentaje mayor en electricidad que el resto de los hogares (cerca del 60 %), lo que refleja particularmente el uso de equipos que utilizan energía para proveer confort térmico (ventilación y aire acondicionado) (Fig. 5).

Figura 5. Estructura porcentual del gasto en energía de los hogares en 2016 según tipo de energético, por quintil de ingreso y región climática



Fuente: Elaboración propia con base en la ENIGH, (INEGI, 2016).

A su vez, en la región templada el mayor peso del consumo de energía se presenta en el uso de gas para cocción y calentamiento de agua, representando más del 50 por ciento del gasto y llegando a significar hasta 70 por ciento en un hogar; asimismo, se observa un peso relativamente homogéneo en porcentaje de gasto por electricidad, el cual no supera el 35 por ciento.

Finalmente, en la frontera norte la energía eléctrica supera el 60 por ciento del gasto energético y llega a representar hasta el 70 por ciento del gasto en energía entre los hogares ubicados en el quintil superior de ingresos, lo que refleja una demanda muy relevante de energía para confort térmico (INEGI 2016).

Equipamientos y elementos de las viviendas que determinan el consumo energético

En las viviendas, las necesidades de energía se cubren con equipamientos que transforman de electricidad o combustible a servicios energéticos. Por lo mismo, el nivel de equipamiento de las viviendas refleja el nivel de acceso a servicios energéticos más allá del simple acceso a los energéticos.

La cantidad y características del equipamiento de los hogares son determinadas, generalmente, por el nivel de ingresos de sus habitantes en función de su ingreso. A mayor ingreso, mayor variedad y cantidad de servicios energéticos. En esta perspectiva, los hogares con menores ingresos o carecen de o disponen parcialmente de servicios energéticos básicos.

Un parámetro que sirve para establecer el alcance del equipamiento en las viviendas es la tasa de saturación, que es la cantidad de hogares que poseen al menos un equipo determinado. Es precisamente la evolución de la saturación de equipos por regiones y por niveles de ingreso lo que muestra el incremento de servicios energéticos en los hogares en México en los últimos veinte años, donde, a partir de información de INEGI, se identifican los siguientes procesos:

- **Incremento generalizado de acceso a servicios energéticos en cantidad y variedad en todas las regiones y niveles de ingreso.** En general, todos los segmentos de hogares —medidos a través de quintiles de ingreso— exhiben un avance en el acceso a bienes y equipos necesarios para satisfacción de servicios energéticos básicos y, por lo tanto, un

incremento en esos servicios. Por ejemplo, la tasa de saturación de refrigeradores pasó de 65.5% a nivel nacional en 1996 a 85.7% en 2016, mientras que los hogares con lavadora pasaron de 44.6% en 1996 a 67.6% en 2016.

- **Crecimiento más acelerado de acceso a servicios energéticos por los hogares más pobres.** El acceso a servicios energéticos (definido en términos de disponer del equipamiento que los provee) está claramente diferenciado por niveles de ingreso, con los de menores ingresos con menos servicios energéticos, aunque con un crecimiento acelerado de este acceso. Mientras que en 1996 sólo una cuarta parte (24.7%) de los hogares en el primer quintil —de menor ingreso— tenía refrigerador, para 2016, cerca de seis de cada diez hogares (63.9%) ya contaba con este equipo.
- **Los hogares de los estados del sur muestran los menores niveles de acceso a equipamientos y mayor disparidad en estos niveles por quintiles de ingreso.** Mientras en 2016 el 95.4 por ciento de los hogares de mayor ingreso contaba con estufa, sólo el 43.1% de los hogares del más bajo ingreso de dicha región cuenta con este equipo.
- **En la región de la frontera norte se presenta la menor disparidad en el acceso a equipos entre los distintos quintiles de ingreso.** Por ejemplo, el 90.2% de los hogares del quintil de menores ingresos de la región norte contaba con una estufa en 2016, en tanto que este equipo promedió 98.7% de saturación en el quintil de mayores ingresos.
- **El equipamiento para confort tiene un gran crecimiento en las regiones con clima cálido (norte y tropical), con mayores niveles de equipamiento en el norte y una mayor concentración en el quintil de mayores ingresos en la región tropical.** De acuerdo con el INEGI, se estima que de los 7.1 millones de equipos de aire acondicionado instalados en los hogares del país en 2016, cerca del 54% se encontraba en los estados de la frontera norte.

Niveles de gasto en energía en los hogares de México

Además del acceso a energéticos modernos, una de las preocupaciones de política pública tiene que ver con la dificultad de los hogares para satisfacer sus necesidades energéticas, a lo cual se ha asociado el concepto de “pobreza energética.” Algunos autores han definido como parámetro que un hogar en condiciones de pobreza energética es aquel que gasta a partir de 10 por ciento de sus ingresos al año en facturas energéticas para cubrir los servicios energéticos básicos (Fankhauser, 2005).

El nivel de gasto en energía está determinado por las necesidades diferenciadas de servicios energéticos, las condiciones climáticas y el poder adquisitivo de las familias. En México, la región del norte tiene el mayor gasto promedio en energía (564.4 pesos mensuales), y la región del sur cuenta con el valor más bajo (293.3 pesos mensuales) (INEGI, 2016).

En promedio, a nivel nacional y por niveles de ingreso durante 2016, los hogares del quintil con mayores ingresos gastaron 3.4 veces más que los de menores ingresos. Por regiones, esta relación es mayor en la región tropical (4.7), la región de frontera norte tiene una relación similar a los promedios nacionales (3.2), y la templada muestra menores diferencias con una relación de 2.5.

En lo que corresponde a pobreza energética, a nivel nacional y de acuerdo con la definición anotada arriba, en México cerca del 11 por ciento del total de los hogares se ubica en esa

situación, lo que representa alrededor de 3.5 millones de hogares. En este sentido, resalta que no es en las zonas más pobres del país donde se presenta el mayor porcentaje de hogares en pobreza energética (con un 9.8 por ciento de los hogares), sino en la frontera norte, donde el 18 por ciento de los hogares (cerca de uno de cada cinco) tiene gastos energéticos superiores al 10%.

El papel y el efecto de las políticas de eficiencia energética

La eficiencia energética se puede definir bajo tres perspectivas:

- Usar menos energía para obtener el mismo servicio;
- Generar más servicios con la misma cantidad de energía usada y
- Generar más servicios con menos cantidad de energía requerida.

De esta forma, lograr eficiencia energética implica: (i) el uso de equipos y/o sistemas con mayores niveles de rendimiento energético (cambios tecnológicos) y/o (ii) un cambio de hábitos o prácticas en relación con el uso de energía (cambios de hábitos y conductas).

Como se ha anotado arriba, el acceso y uso de equipamiento permite tener más servicios energéticos, pero puede afectar las condiciones de pobreza energética en la medida que llega a implicar, específicamente para enseres mayores como refrigeradores o equipos de aire acondicionado, un incremento significativo en el gasto por energía, es una realidad cuando los hogares más pobres acceden a equipamientos que, por sus características o antigüedad, tienen bajos niveles relativos de eficiencia energética.

Esta situación también se puede reflejar en la vivienda en términos de las características de su envolvente, es decir, de los elementos que componen el techo, muros y ventanas, los cuales determinan los flujos de energía hacia y del exterior. En

esta perspectiva, una vivienda en zona de clima cálido que no restringe apropiadamente las ganancias térmicas que vienen del exterior, va a requerir equipos que proveen de confort térmico de mayor tamaño y, por lo mismo, de un mayor consumo de energía y mayor gasto por el mismo.

Dada la muy relevante mejora de la eficiencia energética de esos equipos y sistemas en los últimos 25 años que ha ocurrido en México y la posibilidad de obtener servicios energéticos con cantidades menores de energía, las características de esos equipamientos pueden ser lo que defina la condición de pobreza energética de una vivienda.

En México, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de eficiencia energética son regulaciones técnicas de cumplimiento obligatorio en todo el territorio nacional, y representan el elemento básico de la política pública de eficiencia energética de México. La aplicación de las NOM está fundamentada en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN), la cual establece, entre sus objetivos, el preservar los recursos naturales no renovables, como son los combustibles fósiles. De acuerdo con la LFMN, la expedición de las NOM de eficiencia energética es responsabilidad de la Secretaría de Energía, la cual, a su vez, la delega en la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) para su cumplimiento.

Desde 1995 y a la fecha, la Conuee (antes Comisión Nacional para el Ahorro de Energía o Conae) ha implantado un número importante de NOM sobre eficiencia energética que establecen valores de desempeño energético en equipos y sistemas, entre ellos los más utilizados en los hogares (como lámparas, refrigeradores, lavadoras de ropa, calentadores de agua y estufas a gas, y equipos de aire acondicionado, entre otros) (Conuee 2018).

El establecimiento de NOM de eficiencia energética ha tenido un impacto muy relevante en el consumo unitario de equipos nuevos, con niveles de mejora de la eficiencia energética hasta de 85%, resaltando lo que ha ocurrido en refrigerar-

dores y lámparas, dos equipos que proveen servicios energéticos básicos en más del 90% de las viviendas.

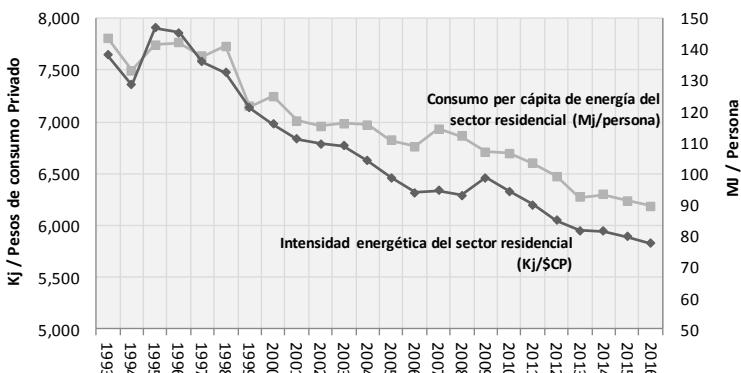
El impacto de esta significativa mejora del desempeño energético de los equipos se vuelve importante cuando se suman los equipos que operan con estas eficiencias: cerca de 10 millones de equipos mayores nuevos entran al mercado al año, generalmente sustituyendo equipos en operación, lo que se refleja en que más de 70 millones de equipos mayores que han entrado al mercado con NOM de eficiencia energética ofrecen servicios energéticos en los hogares mexicanos.

Para identificar el impacto agregado de estas acciones, existen dos indicadores que pueden ser utilizados: la intensidad energética y el consumo de energía per cápita.

La intensidad energética del sector residencial es un índice que relaciona la cantidad de energía usada por el sector entre su consumo total de bienes y servicios. A su vez, el consumo de energía per cápita del sector residencial refleja un promedio de la energía necesaria para la satisfacción de los servicios energéticos por persona.

En México, los valores de estos dos indicadores han decrecido significativamente entre 1996 y 2016. Mientras que su intensidad energética se redujo en 47 por ciento, el consumo per cápita de energía tuvo una disminución del 20.3 por ciento (Fig. 6).

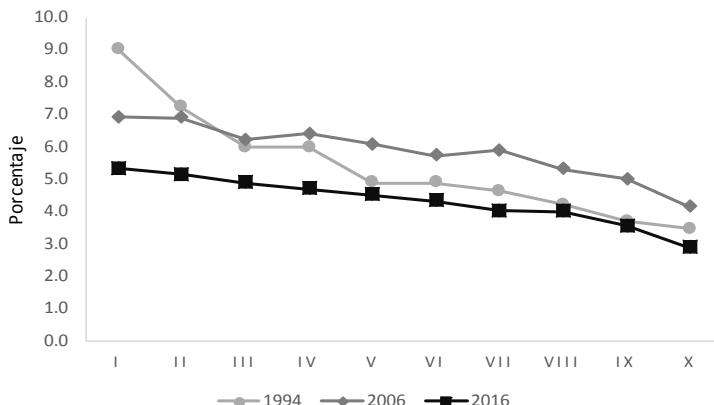
Figura 6. Evolución de la intensidad energética y consumo de energía per cápita del sector residencial en México, 1996-2016



Fuente: Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE) (Conuee, 2017).

Esta evolución se refleja claramente en la reducción, en todos los deciles de ingreso, del porcentaje de ingreso que los hogares destinaron al pago de factura energética en 1994, año de entrada en vigor de las primeras normas de eficiencia energética, respecto a 2006 y 2016; los hogares con menor ingreso fueron los más beneficiados, ya que mientras en 1994 destinaban 9.0 por ciento a la factura energética, en 2016 esta proporción se redujo a 5.3% (Fig. 7).

Figura 7. Proporción del gasto en energía en el ingreso total de los hogares de México por decil de ingreso, 1994, 2006 y 2016



Fuente: Elaboración propia con base en la ENIGH (INEGI 1996, 2006 y 2016).

En el caso de hogares con los ingresos más elevados, también hay una reducción, aunque menor, en el nivel de gasto de 3.5 a 2.9 por ciento, lo cual se explica, parcialmente, por la aparición de la tarifa eléctrica Doméstica de Alto Consumo (DAC) en el país en 2002, que implicó la eliminación de subsidios a los usuarios de mayor consumo, y modificaciones en el esquema controlado de precios máximos o controlados del gas LP, con efectos a partir de 2003.

Conclusiones

Bajo principios que incluyen la defensa de derechos humanos básicos, pero también empujados por el motor del ingenio humano y de la fuerza de la economía, en el mundo y en México se avanza para que no sólo la energía sea limpia y asequible, sino que también los servicios que provee estén al alcance de todos.

Por una parte, se aprovecha el acelerado cambio tecnológico que permite aprovechar fuentes de energía limpia, como son las energías renovables, que incluyen la solar, la del viento, la hidráulica, la biomasa y la geotermia. Por otra parte, se logra tener un uso más eficiente de la energía con equipos que utilizan hasta 5 veces menos energía que sus equivalentes de hace menos de 30 años para proveer los servicios energéticos básicos de un hogar.

Así, mientras en México se avanza en una matriz energética menos dependiente de los combustibles fósiles a partir de compromisos globales, como los Objetivos de Desarrollo del Milenio, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y de metas de mediano plazo que se van cumpliendo a cabalidad; en lo que respecta a la eficiencia energética las políticas públicas, particularmente las acciones de regulación del desempeño energético de equipos de uso generalizado, se han tenido logros significativos que se reflejan en una ampliación del acceso a servicios energéticos para la gran mayoría de la población, con reducciones en el costo relativo de estos servicios.

BIBLIOGRAFÍA

- Congreso de la Union (2015). LEY DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA: 40.
- Conuee (2018). Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética - Balance al 2016. CDMX: 69.
- Galindo, L. M. (2009). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe (Síntesis 2009). CEPAL. Santiago de Chile, Organización de las Naciones Unidas.
- INEGI. (2011). "Censo de Población y Vivienda 2010." Recuperado 15 de Marzo, 2011, www.censo2010.mx/.
- PNUD. (2018). "OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE." en www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/sustainable-development-goals.html.
- SENER (2017). Prospectiva de Energías Renovables 2017-2031. CDMX, SENER: 94.

Sobre el autor



Odón de Buen Rodríguez

Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Maestro en Energía y Recursos por la Universidad de California en Berkeley. Ha colaborado para el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la Comisión Federal de Electricidad y el Laboratorio Lawrence de Berkeley. Fue Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía de México (CONAE). Se desempeñó como consultor para organismos nacionales e internacionales en temas de ahorro de energía y energías renovables en México y Centro y Sudamérica. Fue miembro fundador de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), de la Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación (AEAE) y de la Red por la Transición Energética.

Actualmente es miembro del Consejo de la Comisión Electrotécnica Internacional y Director General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

Energía Asequible y No Contaminante

OCTAVIO GARCÍA VALLADARES

Introducción

De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, el Objetivo 7 “Energía Asequible y No Contaminante” tiene como meta garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. La energía es central para casi todos los grandes desafíos y oportunidades a los que hace frente el mundo actualmente. Ya sea para el empleo, la seguridad, el cambio climático, la producción de alimentos o para aumentar los ingresos. El acceso universal a la energía es esencial. La energía sostenible es una oportunidad, que transforma la vida, la economía y el planeta.

Las metas planteadas para el 2030 comprenden:¹ **a)** garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos; **b)** aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas; **c)** duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética; **d)** aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias; **e)** ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo.

¹ www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/

SITUACIÓN MUNDIAL

El avance en todos los ámbitos de la energía sostenible no está a la altura de lo que se necesita para lograr su acceso universal y alcanzar las metas de este objetivo. Si se desea lograr mejoras significativas, se necesitarán mayores niveles de financiación y políticas con compromisos más audaces, además de la buena disposición de los países para adoptar nuevas tecnologías en una escala mucho más amplia.

A nivel mundial, el 85.3% de la población tenía acceso a electricidad en 2014, es decir, un aumento de tan solo 0.3% desde 2012. Eso significa que 1,060 millones de personas todavía viven sin electricidad. Se trata de personas que en su mayoría habitan zonas rurales, más de la mitad en África Subsahariana.²

El acceso a tecnologías y combustibles menos contaminantes para cocinar aumentó al 57.4% en 2014, poco más que el 56.5% registrado en 2012. Más de 3,000 millones de personas, todavía cocinan con combustibles muy contaminantes y tecnologías poco eficientes.³

La proporción de la energía renovable respecto al consumo final de energía aumentó ligeramente de 2012 a 2014, del 17.9% al 18.3%. La mayor parte de ese aumento correspondió a fuentes de energía como la hidroeléctrica, la solar y la eólica. Las dos últimas aún constituyen una proporción relativamente menor del consumo, a pesar de su rápido crecimiento en los últimos años. El desafío consiste en aumentar el uso de energía renovable en sectores como el de la calefacción y el transporte, que en conjunto representan el 80% del consumo energético mundial.⁴

² *Op. cit.*, n. 1.

³ *Idem.*

⁴ *Idem.*

De 2012 a 2014, tres cuartas partes de los 20 países que más energía consumían en el mundo habían reducido la proporción de energía utilizada por unidad de PIB. Esa reducción se debió principalmente a una mayor eficiencia en los sectores de la industria y el transporte. Sin embargo, ese avance aún no basta para cumplir la meta de duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.⁵

Al 2015, la producción mundial de energía primaria fue de 13,790 millones de toneladas equivalentes de petróleo (577,360 PJ) generando las energías renovables 13.5% de este total, mientras que los hidrocarburos generan el 53.6%, el carbón y derivados 28.1% y la nuclear 4.9%. La producción se incrementó de 0.6% con respecto al 2014; con un mayor incremento en la producción de petróleo (2.3%), seguida por las energías renovables (1.9%) y el gas natural y la nuclear (1.4% cada una).⁶

SITUACIÓN NACIONAL

A nivel nacional, según indicadores del Banco Mundial el porcentaje de población con electricidad pasó de 94.0% en 1990 a 99.2% en 2014. De acuerdo con la encuesta intercensal 2015, realizada por el INEGI, se contaron 119 millones 530 mil 753 habitantes en México, con este dato se tiene que un aproximado de 956 mil 250 habitantes todavía viven sin electricidad. Se trata de personas que en su mayoría habitan zonas rurales.⁷

De acuerdo con un estudio presentado en febrero de 2017 por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) en México un total de 6 millones 990 mil personas (5.85% de la población) habitan en poblaciones rurales “aisladas”, es decir, ubicadas a más de 3 kms. de una carretera que garantice operación todo

⁵ *Idem.*

⁶ *Balance Nacional de Energía 2016*, SENER, p. 15.

⁷ <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCTS.ZS>

el año, y a más de 5 kms. de distancia del centro urbano más próximo. Con lo que esos mexicanos y mexicanas “enfrentan en mayor medida la exclusión y la escasez o inexistencia de equipamiento indispensable para el bienestar y el desarrollo”. Estas localidades, detalló el CONAPO, enfrentan carencia de bienes y servicios tales como “alimentos y productos de consumo cotidiano, educación y servicios de salud básicos, acceso al agua potable, drenaje y electricidad.”⁸

Al 2016, la producción nacional de energía primaria fue de 7,714 PJ (6.6% menor a 2015) generando las energías renovables 8.5% del total (inferior al 13.5% a nivel mundial registrado en 2015), mientras que los hidrocarburos generan el 85.7%, el carbón y derivados 3.3%, condensados 1.1% y la nuclear 1.4%. Las energías renovables tan solo se incrementaron un 0.95% con respecto a 2015. Siendo las que más crecieron la energía eólica con un 18.7% y la energía solar con un 10.2%; teniéndose decrementos de 0.6% en la hidroenergía y 1.4% en la geoenergía.⁹

De acuerdo con el balance nacional de energía 2016, el consumo final de energéticos para el sector residencial, comercial y público fue de 959.58 PJ (18.1% del consumo nacional); de los cuales 756.61 PJ corresponden al sector residencial (14.3% del consumo nacional). La leña aporta al sector residencial el 33.3% de esta energía (utilizada principalmente en zonas rurales), mientras la energía solar tan solo aporta el 0.8%.¹⁰

⁸ www.animalpolitico.com/2017/03/mexicanos-pueblos-aislados-conapo/

⁹ *Op. cit.*, n. 6, p. 23.

¹⁰ *Op. cit.*, n. 6, p. 35.

Problemática

De la situación mundial se desprende que 1,060 millones de personas no tienen electricidad, más de 3,000 millones de personas cocinan con combustibles muy contaminantes, el uso de las energías renovables se ha incrementado muy ligeramente generando apenas un 13.5% de la producción mundial de energía; teniendo una mayor contribución la reducción de la intensidad energética de los 20 países que más energía consumían debido a la eficiencia energética en el sector industria y transporte.

La situación nacional también es preocupante, 956 mil habitantes no cuentan con electricidad, 6 millones 990 mil personas (5.85% de la población) habitan en poblaciones rurales “aisladas” enfrentando la exclusión y la escasez o inexistencia de equipamiento indispensable para el bienestar y el desarrollo, la energía generada por energías renovables es de 8.5% (inferior al 13.5% a nivel mundial), en el sector residencial la leña aporta aún el 33% de la energía utilizada mientras que la energía solar apenas aporta un 0.8%.

Dado la situación mundial y nacional se desprende que estamos muy lejos de alcanzar las metas al 2030 que se han planteado en el Objetivo 7 “Energía Asequible y No Contaminante”, por lo que hay que trabajar a fondo y de manera muy concreta en la introducción e incremento de uso de energías renovables en todos los sectores, pero principalmente en el sector rural que

tiene un gran rezago en este sentido y que, por lo tanto presenta graves problemas de marginación y escasez o inexistencia de factores satisfactorios para su bienestar y desarrollo.

Las políticas públicas a nivel nacional deben de ir enfocadas a la introducción y utilización de las energías renovables en el sector rural en procesos productivos que generen mayor riqueza a estas poblaciones para disminuir la pobreza y marginación. Las políticas públicas de generación de energía mediante grandes plantas de generación con energías renovables reproducen el viejo esquema de generación y no ayudan al bienestar y progreso del sector rural. El uso de generación distribuida, de microredes y autoabastecimiento es una opción a la que pueden abonar las tecnologías ligadas a las fuentes renovables de energía para incrementar la seguridad energética y el desarrollo de poblaciones marginadas en México. En este contexto, a continuación se presentan las fuentes de energías renovables que pueden impulsar el desarrollo de comunidades rurales y ayudar a alcanzar las metas del Objetivo 7 “Energía asequible y no contaminante”. Una de las tareas importantes en México es poder evaluar el potencial del recurso de cada una de ellas de una manera segura y confiable, ya que para algunas de las fuentes renovables de energía esto es aún una tarea por alcanzar.

ENERGÍA SOLAR

La irradiación solar es la energía electromagnética que se recibe del Sol en forma natural y que ha permitido la existencia de la vida en la Tierra. Parte de esta energía es la responsable del clima en la Tierra y otra parte origina la mayoría de los procesos biológicos conocidos. La energía solar es el recurso energético más abundante sobre la Tierra, es limpio, inagotable y gratis. Es tan abundante esta energía que puede aprovecharse para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad.

Debido a que México se localiza geográficamente entre los 14° y 33° de latitud septentrional (dentro de la denominada franja solar), es un sitio ideal para el aprovechamiento de la energía solar, pues la irradiación global media diaria en el territorio, es de alrededor de 5.5 KWh/m²/día,¹¹ siendo uno de los países con mayor potencial en el mundo (ver Fig. 1).



Figura 1. Irradiación solar directa en México. Fuente: INERE¹²

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La irradiación solar se transforma en energía térmica, ya sea en forma de agua caliente, aire caliente, etc., por medio de los llamados captadores solares de temperatura (el principio fundamental de funcionamiento de un captador solar se basa en el aprovechamiento de la propiedad que posee una superficie revestida de negro o superficie selectiva, de absorber la radiación solar en una alta proporción), las aplicaciones de baja

¹¹ CRE. (11 de 12 de 2017). gob.mx. Obtenido de www.gob.mx/cre/documentos/presentaciones-en-foros-publicos-y-conferencias-de-la-comision-reguladora-de-energia

¹² SENER. (2017a). Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE). Obtenido de <https://dgel.energia.gob.mx/inere/>

temperatura, es decir, menores a 100°C, pueden clasificarse en los siguientes tipos:¹³

Captador solar plano. También llamado panel solar térmico, está formado por lo general por una superficie plana a la que se adhiere una serie de tubos por los que circula un fluido que se calienta a su paso por el panel. Todo el conjunto está revestido de una superficie absorbente selectiva. Pueden ser, a su vez: *a) captador plano descubierto* (Fig. 2a). Sistema más económico y de buen rendimiento, cuando se opera a temperaturas de uso de menos de 40°C, utilizado esencialmente para el calentamiento de agua en piscinas o estanques; *b) captador plano protegido* (Fig. 2b). Para evitar las pérdidas de calor por convección (pérdidas térmicas), y además proteger al conjunto de las condiciones atmosféricas, se coloca una cubierta transparente (vidrio, policarbonato, etc.) entre la superficie de absorción y el medio ambiente. Para evitar la pérdida de calor por conducción, el conjunto lleva en su parte posterior un aislamiento térmico que puede ser de poliuretano, fibra de vidrio, etc. Finalmente, cuenta con un marco o caja para darle rigidez al captador.

Captador de tubos de vacío. La superficie captadora está aislada del exterior por uno o un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío. Existen dos tipos: *a) flujo directo*. El fluido circula por los tubos, como en los captadores planos; *b) flujo indirecto o heat pipe* (Fig. 2c). El calor evapora un fluido dentro del tubo (tubo de calor), y éste transmite su energía al condensarse en el extremo.

¹³ Octavio García Valladares e Isaac Pilatowsky Figueroa, coords, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial, Instituto de Energías Renovables UNAM, 2017. p. 47- 49. www.forde-cyt.ier.unam.mx/pdfTermoSolar.pdf



Figura 2. Captador solar: a) captador plano descubierto; b) captador plano protegido; c) tubos de vacío¹⁴

Captador solar para calentamiento directo de aire.¹⁵ Incluye prácticamente los mismos elementos que el de calentamiento de agua: una superficie absorbadora que puede tener diferentes formas geométricas, una o varias cubiertas transparentes, ductos en donde circula el aire en diferentes trayectorias (algunas de ellas se pueden ver en Fig. 3) y un aislamiento térmico conductivo.

De acuerdo con su funcionamiento los captadores solares se clasifican en dos tipos:¹⁶ a) **activos**. Cuentan con una bomba o algún otro dispositivo para mover el agua o fluido dentro de su circuito; b) **pasivos**. No requieren energía externa para funcionar. Mueven el agua o fluido dentro del sistema por el principio de convección natural (sistemas termosifónicos).

¹⁴ *Op. cit.*, n. 13, p. 48-49.

¹⁵ *Op. cit.*, n. 13, p. 55.

¹⁶ *Op. cit.*, n. 13, p. 49-50.

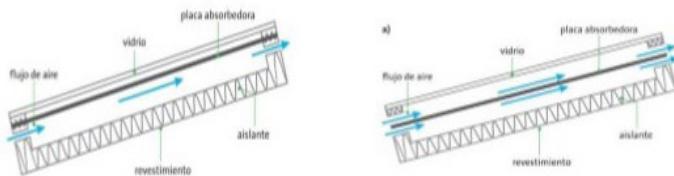


Figura 3. Captador solar para calentamiento de aire: a) circulación del aire entre el absorbedor y el aislamiento térmico, b) circulación de aire por ambos lados del absorbedor¹⁷

Los calentadores solares más comunes en México para calentamiento de agua en vivienda son los sistemas termosifónicos que integran un tanque de acumulación del agua caliente en la parte superior del captador solar. El agua en el captador se calienta debido a la irradiancia solar y, por diferencia de densidades, el agua o fluido caliente de la parte superior del captador fluye hacia el tanque de almacenamiento localizado por encima del captador, mientras que el agua o fluido menos caliente y con mayor densidad sale por la parte inferior del tanque hacia la parte inferior del captador para completar el ciclo. Los sistemas termosifónicos más utilizados se muestran en la Fig. 4a y 4b.

Además de los sistemas mencionados anteriormente, existen en el mercado, sobre todo para regiones cálidas, los **sistemas autocontenidos**¹⁸ (Fig. 4c), que son los calentadores solares más simples que se pueden concebir (por lo que pudieran ser los más baratos y fáciles de instalar), ya que consisten simplemente en un recipiente (uno grande o varios pequeños) dispuesto de tal manera que presente su mayor área de exposición al Sol. Esta superficie se pinta de negro o se cubre con

¹⁷ Op. cit., n. 13, p. 60-61.

¹⁸ Op. cit., n. 13, p. 52.

una superficie selectiva y hace las veces de captador solar. El recipiente se llena con agua, que se calienta directamente por contacto con la cara expuesta al Sol. Por los lados y el fondo se aísla térmicamente para evitar las pérdidas de calor. La eficiencia térmica de este tipo de calentadores es alta si se evalúa únicamente para el período diurno. Esta eficiencia cae drásticamente en general si se considera la pérdida nocturna.



Figura 4. Sistema solar: a) termosifónico con captador plano, b) termosifónico con tubos evacuados, c) autocontenido¹⁹

Las tecnologías de baja temperatura mencionadas por su costo y confiabilidad son las más apropiadas para ser introducidas en el mercado tanto urbano como rural con beneficios tangibles para las comunidades y tasas de recuperación de la inversión bajas.

¹⁹ Op. cit., n. 13, p. 50-53.

APLICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS TERMOSOLARES

Acondicionamiento de agua para piscinas o estanques.²⁰

Las piscinas o estanques requieren temperaturas normalmente de 26 a 30 °C. Los captadores más recomendables para este fin son los captadores planos desnudos de materiales poliméricos, debido a que son más económicos, sumamente ligeros y muy fáciles de instalar. Se pueden aplicar a procesos productivos como es el de la piscicultura donde en muchas ocasiones cuando se disminuye la temperatura del agua de cierto valor en la temporada de invierno los animales se reproducen con mayor dificultad y decae la tasa de natalidad o bien se requiere según la especie un estricto rango de temperatura para que puedan sobrevivir y crecer de manera adecuada. Este tipo de instalaciones son, sin lugar a dudas, las más económicamente viables con cortos retornos de inversión. Los sistemas no requieren en general de mayor mantenimiento y su arranque y paro es automático mediante un control diferencial.

Calentamiento de agua para uso sanitario.²¹ Existen dos grandes ramas: **a) sector doméstico**, los requerimientos de agua caliente para clase media y baja en general no son muy elevados, por lo que pueden cubrirse por lo general con sistemas termosifónicos. Los sistemas más comunes en México, y que pueden, en general, satisfacer los requerimientos de agua caliente para una familia urbana de entre 3 y 4 personas, son los termosifónicos con tanques termos de 150 litros y un captador solar de aproximadamente 2 m²; **b) sector comercial y de servicios** (hoteles, deportivos, hospitales, etc.) donde se requieren volúmenes de agua caliente superiores a los residenciales, por lo que se instalan sistemas en convención forzada con una bomba acoplada a un conjunto de captadores solares

²⁰ *Op. cit.*, n. 13, p. 79-87.

²¹ *Op. cit.*, n. 13, p. 84-89.

y un termotanque con una capacidad suficiente para los requerimientos de consumo de agua caliente.

Los captadores del sistema o termosifón se instalan normalmente en las azoteas cuidando que tengan sombras y que estén orientados hacia el Ecuador con una inclinación igual a la latitud del lugar $\pm 10^\circ$ para lograr la mayor ganancia de energía a lo largo del año.

Climatización de espacios. Los captadores solares para calentamiento de aire pueden crear condiciones de bienestar al climatizar los espacios. Cabe destacar la extensión de sus aplicaciones al acondicionamiento controlado de espacios en las agroindustrias, acondicionamiento de incubadoras, criaderos de aves y reptiles, climatización de establos y de espacios destinados a animales que requieran un control térmico.

Sistemas termosolares para la industria.²² Se pueden aplicar a procesos productivos para generar empleos y recursos económicos para regiones rurales en México. Se tiene una gran variedad de aplicaciones como pueden ser el sector agropecuario y pecuario (sistemas acuícolas, criaderos y acondicionamiento de biodigestores), en la destilación solar (potabilización de agua), agua caliente para procesos de nixtamalización, limpieza de rastros, curtido de pieles, blanqueado de telas y en deshidratado solar de alimentos (que puede reducir la gran cantidad de mermas que se tienen en México en los productos alimenticios, que son en promedio del 37.3%,²³ con lo que se coadyuva a la seguridad alimentaria de las zonas rurales).

De acuerdo con el mapa de ruta tecnológica energía termosolar publicado por la SENER²⁴ se espera que en 2030 aproximadamente el 30% de las viviendas en México tengan instalado un sistema termosolar para calentamiento de agua, un incremento de 17 veces la capacidad instalada en 2015.

²² *Op. cit.*, n. 13, pp. 101-109.

²³ FAO. Pérdidas y desperdicio de alimentos en América Latina y el Caribe, Boletín 2, Abril de 2015.

²⁴ Mapa de ruta tecnológica energía termosolar, SENER, 2018.

Las aplicaciones de temperatura media (entre 100°C y 400°C), utilizan concentradores solares para uso principalmente en la industria, para enfriamiento y para calefacción de espacios. Es una tecnología que puede generar vapor y también ser aprovechada para procesos productivos en comunidades rurales. Sin embargo, dado su alto costo comparado con los sistemas de baja temperatura y partes móviles, hacen que sea por el momento difícil su implementación y su correcto funcionamiento a largo plazo, además de requerir motores eléctricos para su operación.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA²⁵

Los Sistemas Fotovoltaicos (SFV) basan su operación en unidades mínimas de transformación llamadas comúnmente celdas solares que se integran y encapsulan en unidades mínimas de potencia llamadas módulos fotovoltaicos (MFV) o generadores fotovoltaicos (GFV); ellos son los encargados de absorber la luz del Sol y convertir su energía en electricidad del tipo corriente continua (DC). La transformación se realiza de manera directa sin ningún proceso intermedio: si el GFV recibe luz solar, se genera electricidad, si no la recibe, no se realiza la generación; en otras palabras, la generación de potencia eléctrica sólo se realiza durante las horas Sol, por lo que para tener disposición de la energía generada durante el día, hay que almacenarla. Esto representa uno de los pocos inconvenientes de la tecnología fotovoltaica. Sin embargo, tiene muchas ventajas respecto de otras tecnologías, las que la hacen un candidato excelente para la generación de electricidad en lugares remotos. La Tecnología Fotovoltaica (TFV) integrada en el concepto de SFV, es una de las llaves que puede sustentar la diversificación energética que en un futuro muy próximo nuestro país requerirá derivado del agotamiento de los recursos fósiles. Nuestro país cuenta con un amplio recurso solar; y aprovechando la TFV, se

²⁵ Aarón Sánchez Juárez *et al.*, Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial, Instituto de Energías Renovables UNAM, 2017. www.fordecyt.ier.unam.mx/pdf/pdfFotoVoltaico.pdf

podrían resolver parte de los problemas energéticos ligados al uso de la electricidad. Como un indicador, en una superficie de 100 m² y usando cualquiera de las TFV comerciales, se puede generar la energía eléctrica suficiente para abastecer 10 hogares o viviendas urbanas típicas mexicanas con un área habitacional menor a 80 m². Lo anterior sugiere su uso en pequeñas áreas habitacionales que podrían construirse en sitios alejados de la red, o inclusive, en las zonas urbanas en la modalidad de interacción con la red eléctrica convencional.

Un SFV es un conjunto de elementos formados por el generador FV y un conjunto de dispositivos eléctricos-electrónicos que permiten controlar, transformar, almacenar y distribuir la energía eléctrica producida por la TFV a un voltaje específico para su consumo por el usuario en las “cargas eléctricas” consideradas (aparatos eléctricos tales como lámparas, radios, bombas, motores, etc.). La Figura 5 representa el espíritu del Binomio de Generación de Energía Limpia: energía solar y tecnología fotovoltaica.

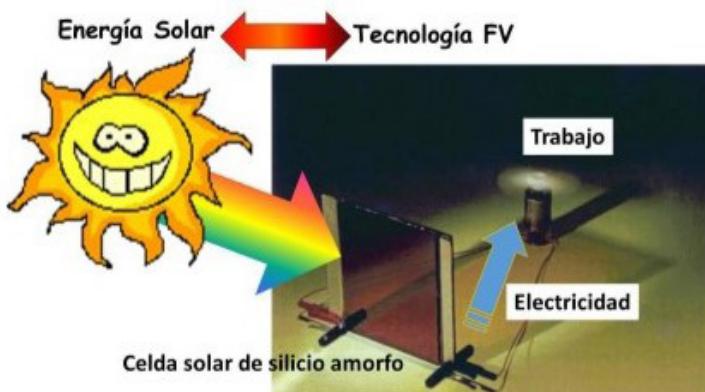


Figura 5. Concepción del binomio de generación de energía limpia: energía solar y tecnología fotovoltaica²⁶

²⁶ Op. cit., n. 25, p. 58.

Los nichos de aplicación de los SFV cubren prácticamente todos los ámbitos en donde se requiera electricidad para desarrollar actividades humanas. Se encuentran aplicaciones de ella en el ámbito rural, zonas urbanas, zonas remotas o aisladas, y aplicaciones espaciales. Para nuestro país, las aplicaciones rurales son las que más se habían fomentado por los diferentes organismos e instituciones debido a la falta de cobertura de la red eléctrica convencional. Este tipo de sistemas en donde el único generador es el Arreglo FV han recibido el nombre de autosustentados. Ejemplos típicos de estos sistemas han sido implementados por PEMEX, Secretaría de Marina, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SEP, Secretaría de Desarrollo Social, FIRCO-SAGARPA, TELMEX, compañías televisivas, entre otras, que han tenido necesidad de elaborar proyectos de desarrollo social o técnico, en sitios apartados de la red eléctrica convencional, para los cuales la TFV ha sido la más apropiada, tanto técnicamente como económicaamente.

Sin embargo, en muchos de estos casos se le provee al usuario final electricidad para generación de luz o para poder tener un televisor o un radio encendido, lo que no ha contribuido en buena parte de los casos a mejorar la situación de vida de las comunidades rurales. Este tipo de sistemas debería de venir ligado a procesos productivos que generen riqueza a las poblaciones marginadas como son, por ejemplo, el bombeo de agua, conservación de alimentos y medicinas, la creación de aserraderos, pequeñas fábricas de artesanías, molinos para diferentes productos, empresas agropecuarias, elaboración de productos lácteos, turismo rural, etc.

Los SFV presentan las siguientes ventajas y bondades:²⁷ **a)** no consumen combustible, ya que operan con la luz solar y no se producen desechos contaminantes durante la conversión, por lo que tiene un mínimo impacto ambiental; **b)** no se genera ruido; **c)** en el proceso de generación no hay partes móviles,

²⁷ *Op. cit.*, n. 25, p. 30.

lo que indica un mantenimiento mecánico nulo; **d)** no requieren de un operador para funcionar. Se diseñan para que operen automáticamente; **e)** requieren de un mantenimiento mínimo para su funcionamiento y su costo de operación es bajo; **f)** son modulares, es decir, sólo se instala la cantidad de energía que requiere la aplicación (la energía que se genera es cercana a la que se consume).

Una de las desventajas que ha limitado el uso masivo de esta tecnología es su alto costo de inversión inicial; sin embargo, con la implementación de programas gubernamentales de desarrollo social, educativo y económico, esquemas de financiamiento, iniciativas en el sector público y privado en función de sus necesidades energéticas, han permitido que esta tecnología tenga sus nichos de aplicación. El ejemplo de esto ha sido la implementación de un sin número de programas gubernamentales tanto nacionales como internacionales que han permitido establecer y confirmar que esta tecnología es una buena alternativa, tecnológica y económicamente más viable, para generar electricidad con fines sociales y productivos en sitios alejados de las líneas de distribución eléctrica; y actualmente, en las zonas urbanas en la modalidad de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica.

ENERGÍA EÓLICA

A partir de 2012, en México la capacidad y generación eólica ha mostrado un crecimiento constante; pasando de generar 357 GWh en 2011, a generar 10,462.57 GWh al cierre del segundo semestre de 2016.²⁸ La tasa media anual de crecimiento de la generación eólica desde 2004 ha sido de 86%.

²⁸ Reporte de Avance de Energías Limpias 2016, Secretaría de Energía, Junio 2017, México.

Se estima que se sumarán 1,176 MW al cierre de 2018 y otros 1,542 MW al cierre de 2019, de acuerdo con el *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2017-2031*,²⁹ como resultado de las nuevas centrales en construcción y los proyectos ganadores de la primera y segunda subasta.

En México se ha logrado consensuar un escenario de desarrollo eoloeléctrico para 2020, en el que se proyecta contar con 12,000 MW; es un escenario conservador que obedece a la situación y a las expectativas de desarrollo económico en los próximos años.

A nivel mundial, México está posicionado como uno de los mejores sitios para la generación de electricidad a partir de la fuerza del viento. Nuestro país cuenta con un potencial eólico de más de 50,000 MW eólicos y se requieren utilizar tan solo alrededor de 17,000 MW para alcanzar el objetivo de generar 35% de energía eléctrica con tecnologías limpias para 2024, dejando un amplio espacio para otras tecnologías.

El principal recurso eólico en México se localiza en el Istmo de Tehuantepec, en Oaxaca. En las áreas más ventosas (La Venta), el promedio anual de la velocidad del viento a 50 metros de altura excede los 10 m/s. Dadas las excelentes características topográficas de la región, se ha estimado que ahí se podrían instalar más de 3,000 MW eoloeléctricos.

En México existen otras regiones con vientos técnicamente aprovechables para la generación de electricidad (se pueden encontrar áreas donde el promedio anual de la velocidad del viento es mayor que 6.0 m/s a una altura determinada); por ejemplo, algunas partes de los estados de Baja California, Baja California Sur, Tamaulipas, Veracruz, Zacatecas, Hidalgo, Yucatán, Chiapas y Quintana Roo, entre otros.

Los dispositivos que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica se conocen como aerogeneradores;

²⁹ Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2017-2031 (PRODESEN 2017-2031), Secretaría de Energía, 2017, México.

en la actualidad, estas máquinas se fabrican en capacidades que pueden ir de unas cuantas centenas de W hasta varios MW. Lo que implica que los rotores aerodinámicos pueden tener aspas que midan desde unos 3 m hasta más de 100 m de longitud. Existen diferentes tipos de aerogeneradores, de acuerdo con la orientación de su eje motriz; aunque actualmente, de manera comercial, predominan los de eje horizontal de tres aspas para la mediana y gran capacidad de generación. Sin embargo, comienza a resurgir el viejo concepto de eje vertical, principalmente para aplicaciones en pequeña escala.

Existen modelos de aerogeneradores diseñados para operar en sitios con características particulares, capaces de aprovechar el recurso eólico en lugares donde el régimen de viento es intenso, moderado o relativamente bajo (clases I, II y III de aerogeneradores); o bien, para sitios con alta turbulencia o con climas muy fríos. Otros modelos se han diseñado para aplicaciones costa afuera y cuentan con protecciones para condiciones ambientales más agresivas que las que se pueden encontrar tierra adentro. En cualquiera de los casos, uno de los aspectos determinantes para la viabilidad económica de su aplicación en un sitio determinado es la persistencia del viento a lo largo del año.

No todo el viento sirve para generar energía; por lo general, para que las aspas de un aerogenerador giren se necesitan vientos moderados por encima de los 4 m/s y por debajo de los 25 m/s. La energía cinética contenida en el viento es muy grande; sin embargo, no puede ser extraída toda por los aerogeneradores. Según el Límite de Betz, puede teóricamente obtenerse, como máximo, el 59% de la energía que llega al rotor de un aerogenerador; actualmente, estos dispositivos aprovechan cerca del 40%.

Los aerogeneradores son sistemas complejos que están integrados por subsistemas aerodinámicos (aspas), mecánicos (rotor, incrementador de velocidad), eléctricos (generador, inversor), electrónicos (sistema de control), servomecanismos (subsistemas de orientación y de cambio de paso), componen-

tes estructurales (cimentación, torre, góndola) y software (programas de supervisión y almacenamiento de información).

Típicamente, los aerogeneradores se instalan en parques eólicos, en las zonas donde el recurso eólico es abundante; en México, actualmente se tienen 41 centrales eólicas operando con una capacidad instalada total de 3,942.2 MW.³⁰ Existen regiones, como La Ventosa en Oaxaca, en las que se concentra un mayor número de parques eólicos y que requieren de instalaciones especiales para interconectar las grandes centrales eólicas al sistema eléctrico nacional y transmitir la electricidad generada a los centros de consumo.

Otra de las aplicaciones de la energía eólica, está enfocada a la generación de pequeña escala de manera distribuida que puede beneficiar ampliamente al sector rural en México, el futuro de la generación eólica distribuida dependerá principalmente del costo de la tecnología, de la evolución de los precios de los combustibles fósiles y del interés de los inversionistas.

Actualmente, el costo de las pequeñas turbinas eólicas sigue siendo el factor más influyente para el despliegue de esta tecnología.

Es importante mencionar que la complejidad de la evaluación de los recursos eólicos representa un importante inconveniente para el despliegue de las pequeñas turbinas eólicas. En ese sentido, es necesario realizar estudios adicionales para evaluar el potencial a nivel micro escala, los cuales deberán ser incluidos en los atlas de potencial actuales.

De acuerdo con las experiencias de implementación en otros países, otro aspecto a considerar para el despliegue de turbinas eólicas pequeñas, son las regulaciones e incentivos del gobierno para desarrollar este sector en áreas urbanas y periféricas. Asimismo, la implementación de aerogeneradores de pequeña y mediana escala, deberá considerar la percepción social a nivel

³⁰ Cartera de Necesidades de Innovación y Desarrollo Tecnológico–Energía Eólica en Tierra, Secretaría de Energía, diciembre 2017, México.

urbano, así como garantizar las cuestiones de salud y seguridad en torno a la tecnología y la calidad de vida.

Una diferencia fundamental para el desarrollo de las ciudades y áreas rurales está dada por el acceso que tienen las poblaciones rurales al servicio eléctrico; ya que esto determina el acceso a satisfactores de la vida diaria, que en las ciudades se dan por sentado, como son: iluminación, radio y televisión, refrigeración y molinos de nixtamal. Algunas otras aplicaciones que, en el medio rural, tiene la energía eoloeléctrica son el bombeo de agua y la conservación de alimentos o material relacionado con la ganadería. En México la electrificación en áreas rurales por medio de energía eólica y sistemas híbridos (fotovoltaicoeólico) existe desde hace algunos años; sin embargo, el nivel de penetración ha sido muy bajo para los requerimientos actuales.

La energía eólica no sólo plantea beneficios ambientales evidentes, sino que permitirá una necesaria diversificación energética y, por lo tanto, una mayor seguridad a largo plazo; también tiene una mayor intensidad de trabajo humano por lo que contribuirá de manera significativa a la generación de empleos; ofrece flexibilidad y adaptabilidad, y se presta de manera más eficiente a la electrificación de comunidades rurales aisladas.

ENERGÍA HIDRÁULICA

La hidroenergía representa una de las energías limpias que deberían ser aprovechadas por las comunidades rurales de nuestro país. Una buena cantidad de las comunidades rurales disponen de algún tipo de recurso hidráulico y, sin embargo, tienen escaso o nulo servicio de energía eléctrica.

Otra realidad que permanece intacta desde que se hizo una primera evaluación, hace 32 años, consiste en que el potencial hidroenergético asociado a 79 distritos de riego del país, es de 303.3 MW, que podrían lograrse al instalar 1,725 Micro y Mini-

centrales Hidroeléctricas (MCH) con capacidades comprendidas entre 50 y 200 kW y, sin embargo, no se han aprovechado para beneficio del sector agropecuario.³¹

Como se sabe, las Centrales Hidroeléctricas (CHE) son instalaciones que permiten aprovechar la energía potencial —masa a una cierta altura— contenida en el agua de los ríos, al convertirla en energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas acopladas a generadores eléctricos. En México se tiene una excelente experiencia profesional en el diseño, construcción y operación de grandes CHE. Por ejemplo, se tienen 64 CHE, de las cuales 20 son de gran importancia y 44 son centrales medianas. Sobresalen por su enorme capacidad instalada las CHE del sistema hidroeléctrico del río Grijalva, en el estado de Chiapas. Sirva de muestra 'Chicoasén' con 2,400 MW de capacidad de generación. Para tener una idea del significado de las cantidades anteriores, sirva de ejemplo que la demanda de energía eléctrica que requiere una casa habitación, para una familia promedio de cuatro a cinco personas, es de sólo 2 kW. Es decir, 'Chicoasén' puede cubrir la demanda de energía eléctrica de 1,200,000 residencias.

En contraste, si se considera una 'Micro o Mini Central-Hidroeléctrica' (MCH), de la familia de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas —cuya capacidad de generación es de 1 a 100 kW y de 101 a 1,000 kW respectivamente— correspondería al espacio de aplicación de una fuente de energía limpia y renovable que siendo demasiado pequeña, en comparación con las CHE convencionales ofrece la oportunidad de ser aprovechada en cientos y miles de pequeñas comunidades rurales de nuestro país, ubicadas cerca de pequeñas corrientes de agua, ríos, canales, arroyos y manantiales.

³¹ Flavio Francisco Ferrán y Riquelme (marzo 1986), Estimación del potencial hidroenergético de los distritos de riego del país, Instituto de Investigaciones Eléctricas, División de Estudios de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Informe iie/42/3988/01/f.

TECNOLOGÍA QUE SE EMPLEA EN LAS “MICRO Y MINI CENTRALES-HIDROELÉCTRICAS”

Con respecto a la tecnología que se emplea en las “Micro y Mini Centrales-Hidroeléctricas” (MCH), por lo pequeño de las instalaciones y el equipamiento empleado, es de lo más sencilla que pueda imaginarse. Las MCH están formadas por pequeñas obras que conducen el agua, tomada del río o arroyo, con auxilio de una compuerta y llevada a través de un canal o tubería hasta la también pequeña turbina hidráulica, que se acostumbra identificar como Micro o Mini-Turbina Hidráulica (MTH) constituida por una rueda, llamada rodete, que equipado con varios álabes, recibe el impulso o reacción del flujo del agua que pasa a través del mismo rodete y que le produce un movimiento de rotación que mediante un eje metálico transmite la energía hidráulica, transformada en energía mecánica a un pequeño generador eléctrico.

Para estimar de manera rápida la cantidad de energía eléctrica que puede proporcionar la MTH instalada a un lado del río o arroyo, sólo habrá que multiplicar la cantidad de agua que se hace pasar por la MTH (expresada en lts/s) por la altura o desnivel del agua (en m, medida desde la sección donde se hizo la toma del agua hasta la sección de la descarga en la MTH). Lo anterior, se multiplica por un coeficiente, cuyo valor promedio es igual a 7, y así se obtiene el resultado final en W. Sirva de ejemplo considerar a un pequeño canal que conduce un flujo de 40 lts/s, con un desnivel de 10 m. Entonces la energía eléctrica que la MTH instalada puede generar sería de aproximadamente $7 \times 40 \times 10 = 2,800$ W.

En caso de que la corriente de agua no tenga un desnivel o caída hidráulica en el tramo considerado, la hidroenergía nos permite aprovechar la velocidad que tenga el agua en la sección que interese por medio de otro tipo de MTH. En este caso se recomendaría usar una pequeña “Turbina Hidro-Cinética”, que consiste en su forma más simple, en una propela soporta-

da por un eje metálico, que permite mantenerla sumergida en el agua, siendo el movimiento de rotación transmitido por el mismo eje hasta un pequeño generador eléctrico o bien, al impulsor de una bomba centrífuga que permita elevar el agua hasta terrenos de cultivo localizados arriba del nivel inicial del canal o río. Se observa entonces que con esta aplicación de la hidroenergía, puede obtenerse no sólo energía eléctrica sino también energía mecánica para bombeo de agua o bien para otra aplicación. Se pueden alcanzar terrenos que, de otra manera, no tendrían riego o bien, se podría ahorrar el costo del consumo de combustibles que requieren las motobombas convencionales.

La construcción de pequeños centros de energía al lado de los ríos y corrientes de agua permitirían aprovechar la electricidad producida por MCH en instalaciones provistas de motores y equipamiento para la realización de actividades productivas de las comunidades beneficiadas cuyos habitantes sólo caminarían pequeñas distancias, de 1 a 5 kms, desde sus casas hasta el lugar de trabajo. Este esquema permitiría eliminar el tendido de líneas de distribución de electricidad con el consecuente ahorro de un importante porcentaje de inversión del proyecto.

La energía eléctrica generada en estos pequeños centros de energía, con el propósito de hacerlos rentables y autosustentables, sería aplicada para la realización de actividades productivas comunitarias tales como: artesanías, fabricación de ropa, zapatos, aprovechamiento de los recursos naturales de la región, alimentos, procesamiento de productos agropecuarios, fabricación de muebles, ecoturismo, y tantos otros productos y actividades que pudieran ser aprovechados y comercializados tanto en el país como en el extranjero. En otras palabras, se trata de efectuar una verdadera organización y capacitación de las fuerzas de trabajo de las comunidades rurales no limitándose hasta la comercialización de sus productos sino apoyando la educación y capacitación de las nuevas generaciones

de jóvenes y niños dirigiendo los esfuerzos a un arraigo en su comunidad, una superación permanente con una calidad de vida satisfactoria.

ENERGÍA OCEÁNICA POR CORRIENTES Y MAREAS

Las corrientes oceánicas son una fuente atractiva de energía debido a su fiabilidad inherente, persistencia y sostenibilidad. Las corrientes oceánicas superficiales (hasta 100 m) se originan principalmente por el viento. Estas corrientes, tienden a tener pocas variaciones.³² Dado que el agua es aproximadamente 800 veces más densa que el aire, el flujo de una corriente oceánica a una décima parte de velocidad del viento, tiene la misma potencia.³³ En regiones con caudales extremadamente fuertes, las corrientes pueden proporcionar una potencia suficiente y posiblemente rentable.³⁴ Se estima una potencia global de la energía en 5 TW, con densidades de energía alcanzando los 5 kW/m².³⁵

Las mareas son ondas largas de gravedad, consecuencia principalmente de la fuerza gravitacional ejercida sobre la Tierra por el Sol y la Luna, lo que da como resultado el ascenso y descenso del nivel del mar, de manera periódica. Existen lugares donde la amplitud de las mareas alcanza niveles extraordinarios como en el norte del Golfo de California, en México, con 7 m. (Fig. 6).

³² X. Yang (2013). Ocean current energy resource assesment for the United States. Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology.

³³ J.W. Twidell y A.D. Weir (2006). Renewable energy resources (Second edition ed.). Taylor and Francis.

³⁴ *Op. cit.*, n. 32.

³⁵ U. S. Department of Interior. (2006). Technology white paper on ocean current energy potential on the U.S. outer continental SHELF. Minerals Management Service. Obtenido de www.boem.gov/Ocean-Current-White-Paper-2006/

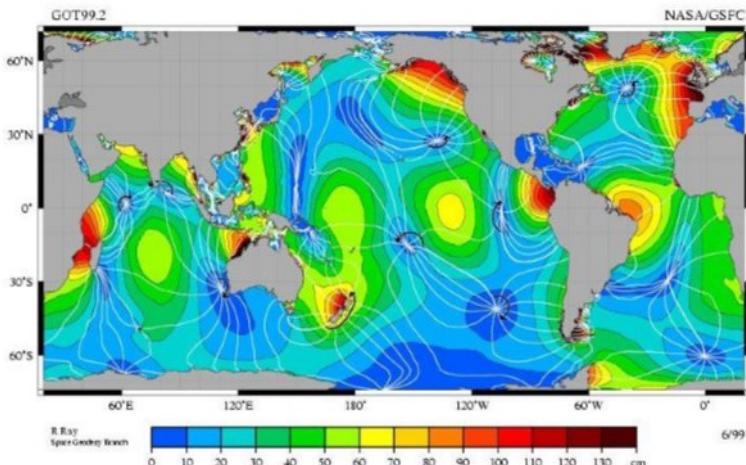


Figura 6. Mapa cotidal, marea M2 semi diurna³⁶

La marea se manifiesta a través del ascenso y descenso de una gran masa de agua varios metros en pocas horas (energía potencial), o por las corrientes (energía cinética) asociadas en bahías, estrechos principalmente. El aprovechamiento de la energía potencial consiste básicamente en llenar embalses utilizando un sistema de compuertas que controlan la entrada y salida del flujo. La energía del océano puede ser extraída de una manera similar como la energía del viento, usando turbinas.³⁷

Las corrientes de marea podrían proporcionar más de 10 TW/año en los estuarios más grandes, donde las corrientes pueden alcanzar valores arriba de 10 m/s.³⁸

³⁶ NASA, Richard Ray. (2017). TOPEX/Poseidon: Revealing Hidden Tidal energy. Obtenido de NASA-GSFC: <https://svs.gsfc.nasa.gov//stories/topex/tides.html>

³⁷ *Op. cit.*, n. 32.

³⁸ Q. Schiermeier et al. (2008). Electricity without carbon. *Nature* (454), 816-823.

En México, se tiene documentado el proyecto IMPULSA IV,³⁹ realizado por la UNAM, con el fin de aprovechar el potencial mareomotriz en la parte alta del Golfo de California. También existe un estudio-propuesta para una mareomotriz en las costas de Oaxaca, enfocado para la industria pesquera.⁴⁰ En lo que corresponde al Centro Mexicano de Innovación en Energía Oceánica se realizaron los mapas mensuales de corrientes promediadas en un periodo de 20 años, de 1993 a 2012 a una profundidad de 10 m, este estudio evidenció la persistencia e intensidad de la corriente en el canal de Yucatán, lo que lo convierte en excelente candidato para producir energía por corrientes de baja frecuencia.

La tecnología para la extracción de energía de las corrientes y mareas oceánicas, aunque existente, todavía está lejos de madurar. Sin embargo, en un futuro puede ser una fuente importante de energía para México dada los 11,952 km de costa que nos convierte en el decimotercer país a nivel mundial en este rubro. Por lo que habrá que estar atento a su desarrollo e implementación.

ENERGÍA GEOTÉRMICA

En el pasado geológico, los sistemas hidrotermales dieron origen a la atmósfera, después a los océanos y finalmente dio paso a crear las condiciones necesarias para generar la vida tal y como la conocemos y a la satisfacción de las necesidades en

³⁹ G. Hiriart-Le-Ber (2009). Potencial energético de las mareas para generar electricidad, Revista digital universitaria, Volumen 10, Número 6.

⁴⁰ A. A. Sánchez Arenas (2013). El mar como energía renovable y su aplicación a la industria. Ciudad de México: IPN-Escuela superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

las primeras civilizaciones.^{41 42 43} En la actualidad, el hidrotermalismo sigue proporcionando condiciones para mejorar la calidad de vida; sin embargo, sólo es visto como la etapa final de un ciclo magmático el cual generalmente incluye actividad volcánica, medio por el cual la Tierra transfiere una gran cantidad de calor desde su interior hacia la superficie. En México como ejemplo de la actividad hidrotermal se encuentra la caldera de Los Humeros (Puebla), Los Azufres (Michoacán), las estructuras volcánicas como el Volcán Popocatépetl (Puebla y Morelos), el Volcán de Fuego de Colima (Colima), etc.

Al aprovechamiento de la energía del interior de la Tierra generada ya sea por procesos gravitacionales o decaimiento natural de isótopos inestables, se le conoce como energía geotérmica.^{44 45 46} Si este recurso es usado de manera sustentable (tasa de consumo igual o menor a la tasa de renovación del proceso) se puede considerar como una energía renovable, ya que el consumo humano no podría agotar el reservorio energético.⁴⁷

Desde 1959, México ha figurado como uno de los países pioneros y líderes del Continente Americano en el aprovechamiento de la energía geotérmica para la generación de energía eléctrica, ocupando actualmente el séptimo lugar a nivel

⁴¹ J.A. Gómez-Caballero y Jerjes Pantoja-Alor (2003). El origen de la vida desde un punto de vista geológico. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 51(1), 56–86.

⁴² M.H. Dickson y M. Fanelli (2006). *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

⁴³ E. Santoyo-Gutiérrez e I. Torres-Alvarado (2010). *Escenario Futuro De Explotación De La Energía Geotérmica: Hacia Un Desarrollo Sustentable*. Digital Universitaria, 11, 26.

⁴⁴ *Op. cit.*, n. 43.

⁴⁵ E. Santoyo et al. (2012). *Geotermia: Energía de la Tierra*. Editorial Terracota (ET), Colección Sello de Arena, ISBN 978-607-713-033-1, 80 p.

⁴⁶ I. Stober y K. Bucher (2013). *Geothermal Energy*. *Geothermal Energy*. <https://doi.org/10.1007/978-3642-13352-7>

⁴⁷ J.W. Lund et al. (2011). Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. *Geothermics*, 40(3), 159–180.

mundial.⁴⁸ La capacidad actual instalada es de 926 MWe, distribuida en 5 campos geotérmicos: Cerro Prieto (Baja California), Los Azufres (Michoacán), Los Humeros (Puebla), Las Tres Vírgenes (Baja California), y Domo de San Pedro (Nayarit). La explotación de estos campos geotérmicos provee un ahorro para el país cuantificado en más de 10 millones de barriles de petróleo por año.⁴⁹

Por otro lado, en lo que se refiere a otros usos directos de la energía geotérmica, la capacidad instalada anual está dividida principalmente en: calentamiento de espacios (0.460 MWt/año), calentamiento de invernaderos (0.004 MWt/año), secado agrícola (0.007 MWt/año), balneología (155.347 MWt/año), dando una estimación total de energía en el país de aproximadamente 155.818 MWt/año.⁵⁰

En este renglón geoenergético, México cuenta con un enorme potencial de recursos geotérmicos distribuidos a lo largo del territorio con alrededor de 1,300 anomalías geotérmicas censadas, de las cuales el 79% se encuentran localizadas en el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano, donde el 77% de las manifestaciones termales son recursos de baja temperatura (<150°C), el 18% de temperatura media (150-180°C) y el 5% de las manifestaciones restantes presentan características de sistemas geotérmicos de alta o muy alta temperatura (>180°C).⁵¹

⁴⁸ Think Geoenergy (2017). Breaking News: Top 10 Geothermal Countries. Retrieved October 31, 2017, from www.thinkgeoenergy.com/breaking-news-turkey-breaks-into-the-1-gw-geothermalcountry-club/

⁴⁹ M.A. González González (2009). Geotermia como alternativa energética en México, ¿es realmente viable? Bol-E. Retrieved from www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/treMiguelGG09.pdf

⁵⁰ L. Gutiérrez-Negrín et al. (2015). Present situation and perspectives of geothermal in Mexico. Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015, (April), 1-10.

⁵¹ L. González-Ruiz et al. (2015). Distribución de Anomalías Geotérmicas en México: Una guía útil en la prospección geotérmica. Revista Internacional de Investigación E Innovación Tecnológica. Sacado de http://riiit.com.mx/apps/site/files/anomalias_geotrmicas_v1.pdf

El recurso geotérmico disponible para su explotación puede existir en reservorios de vapor o líquido dominante, incluyendo algunos sistemas de roca seca caliente, siendo los reservorios de líquido los más explotados actualmente en el mundo. De forma muy general el proceso de producción de energía geotérmica inicia cuando agua caliente almacenada en un reservorio fluye de manera natural a través de fracturas hacia la superficie para manifestarse como manantiales calientes o fumarolas, o en forma artificial inducida mediante pozos perforados, en donde a medida que se extrae el fluido hacia la superficie su presión y temperatura disminuye para obtener una mezcla agua-vapor que es separada eficientemente mediante separadores ciclónicos. Una vez separado el vapor del líquido, es conducido a turbinas de alta o baja presión para generar energía eléctrica, mientras que el líquido (algunas veces con temperaturas de hasta 150°C) es reinyectado nuevamente a la Tierra para recargar térmica e hidráulicamente el reservorio, además de disponer adecuadamente sus fluidos para protección del medio ambiente.⁵² Una de las maneras más eficientes de aprovechar la energía geotérmica es mediante su uso en procesos de cascada, la cual reduce los costos de producción y optimiza la utilización de recursos geotérmicos.⁵³ En cuanto más caliente sea la temperatura del fluido geotérmico extraído y remanente, más aplicaciones se podrán conectar de forma secuencial como se observa en la Fig. 7.

⁵² DiPippo y J.L Renner (2013). Geothermal Energy. Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet. Elsevier Ltd.

⁵³ M. Van Nguyen et al. (2015). Uses of Geothermal Energy in Food and Agriculture.

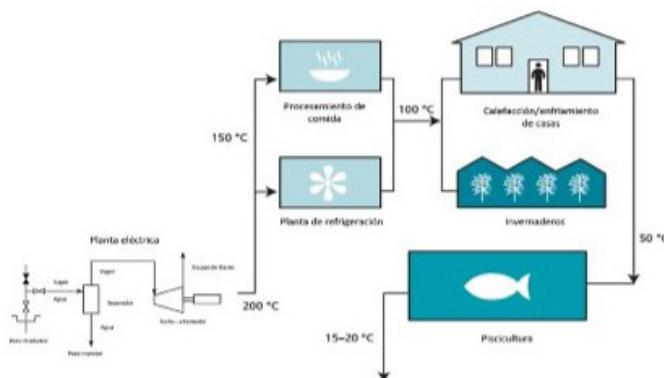


Figura 7. Producción en cascada de la energía geotérmica⁵⁴

Existen diversas formas versátiles y comunes de emplear el recurso geotérmico.⁵⁵ El espectro de usos directos de la energía geotérmica puede clasificarse en seis usos principalmente: **1)** calefacción y/o enfriamiento, **2)** agricultura, **3)** piscicultura/ acuicultura, **4)** industriales, **5)** balneología y **6)** atracción turística. Las operaciones industriales incluyen secado, evaporación, destilación, refrigeración, horneado, extracción, lavado, tintura y procesos de calentamiento ya sea de espacios o procesos industriales.⁵⁶ El amplio espectro de usos directos que ofrece la energía geotérmica constituye un camino para el desarrollo de comunidades rurales de manera sostenible, superando de manera sistemática el desequilibrio social y económico que existe en estas regiones. El cual se basa en el valor agregado que ofrece el potencial técnico y económico de la

⁵⁴ Op. cit., n. 52.

⁵⁵ Op. cit., n. 42.

⁵⁶ Lindal, B. (1992). Review of industrial applications of geothermal energy and future considerations, 216(5), 591–604. Sacado de https://ac.els-cdn.com/037565059290012X/1-s2.0-037565059290012Xmain.pdf?_tid=35352c18-af1c-4279-b2a7-57bd86023bef&acdnat=1521741145_d874966bd3e7d34d-19083478ff70b87

energía geotérmica a diversos productos industriales, agrícolas y piscícolas.⁵⁷

Los usos directos de la energía geotérmica en México se han limitado principalmente en aplicaciones de balneología (balnearios recreativos y usos terapéuticos), así como proyectos piloto demostrativos en el campo geotérmico de Los Azufres, en donde se desarrollaron algunas aplicaciones a nivel prototipo para el secado de madera, deshidratación de frutas y vegetales, acondicionamiento térmico de invernaderos y un sistema para calentamiento de las oficinas e instalaciones en el mismo campo.^{58 59} Recientemente con la creación del Megaproyecto Estratégico Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CeMIEGeo) se han gestado nuevos proyectos de investigación de usos directos a mayor escala para el desarrollo de bombas de calor geotérmicas y otros prototipos experimentales para el acondicionamiento térmico de espacios o invernaderos, el secado de alimentos, la desalación de agua, entre otras aplicaciones.⁶⁰ Asimismo, la Secretaría de Energía de México ha decidido impulsar fuertemente la innovación en proyectos de usos directos con la nueva propuesta del Mapa de Ruta Tecnológica de la Geotermia.⁶¹

Como conclusiones a esta fuente renovable de energía, es necesario poner al servicio de la industria, y de la misma población en general, el uso de los recursos geotérmicos para la satisfacción de sus necesidades de energía. En este contexto energético, los sistemas de hidrotermales (agua caliente) son muy abundantes y están distribuidos, prácticamente a lo largo y ancho del país.

⁵⁷ *Op. cit.*, n. 53.

⁵⁸ *Op. cit.*, n. 50.

⁵⁹ J.W. Lund y T.L. Boyd (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66–93.

⁶⁰ J.M. Romo Jones, (2015). The Mexican Center for Innovation in Geothermal Energy (CeMIE-Geo). In *Proceedings World Geothermal Congress 2015* Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

⁶¹ Mapa de ruta tecnológica en geotermia, SENER, 2017.

Muchas de estas zonas están localizadas en territorios rurales en los cuales los requerimientos de energía para satisfacción de las necesidades cotidianas son fundamentales en su hábitat. Adicionalmente, las actividades económicas (representadas por la agricultura, la ganadería, la tala de árboles, entre otras), requieren un procesamiento industrial mínimo para maximizar sus utilidades y facilitar su comercialización. Es aquí justamente en donde los usos directos de la geotermia pueden jugar un papel importante para dar un valor agregado a las actividades que rutinariamente se llevan a cabo en estas zonas en virtud que su energía está disponible en todo momento a lo largo del año y durante el día y la noche. El uso integral de la energía geotérmica en procesos en cascada es necesario para aprovechar toda la energía almacenada en el fluido geotérmico, primero en la generación de energía eléctrica y posteriormente en aplicaciones tales como, refrigeración-calefacción, secado, procesos industriales, invernaderos, balneología, etc.

RECURSO DE BIOMASA

La biomasa es la materia orgánica de origen vegetal o animal, cuando es utilizada como biocombustible se le conoce como bioenergía. Puede provenir de cultivos forestales o agrícolas, o de sus residuos,^{62 63 64} incluyendo a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Esta biomasa tiene distintos tipos de procesamiento:⁶⁵ a) biocombustibles sólidos, pueden quemarse directamente o previa gasificación o pirólisis, para producir calor y electricidad. Un ejemplo son: la leña, carbón vegetal,

⁶² C. A. García et al. (2016), Estado del Arte de la Bioenergía en México.

⁶³ Bioenergía- OISE. Disponible: www.oise.mx/biomasa. [Acceso: 01-Abril-2018].

⁶⁴ REMBIO. La bioenergía en México Situación actual y perspectivas de bioenergía. Cuad. Temático sobre la Bioenergía, vol. 4, p. 44, 2011.

⁶⁵ Op. cit., n. 62.

residuos agrícolas, residuos forestales, pellets y briquetas; b) biocombustibles líquidos, se obtienen de cultivos energéticos como caña de azúcar y oleaginosas o de aceite vegetal usado, grasas animales y otras fuentes (bioetanol, biodiésel y bioturbosina); c) biocombustibles gaseosos, provienen tanto de residuos municipales, como de excretas animales; se puede obtener calor y electricidad, localmente y en sistemas interconectados con el biogás o biometano obtenido.

En México, se contabiliza el uso tradicional de la leña y el carbón vegetal, también se contabiliza el aprovechamiento del bagazo de caña en la generación de calor y electricidad en ingenios azucareros.⁶⁶

Los recursos biomásicos del país cuentan con un potencial probado cercano a los 3,320 GWh/año, un potencial probable de 680 GWh/año y un potencial posible superior a los 11,480 GWh/año.^{67 68} En la Tabla 1, se muestra el potencial técnico de producción de algunos recursos biomásicos, en PJ, el potencial energético bruto no considera pérdidas por transporte y producción de energía, el potencial neto considera estas pérdidas.⁶⁹

⁶⁶ *Op. cit.*, n. 64.

⁶⁷ *Idem.*

⁶⁸ ProMéxico: Mapa de Inversión en México - Perfil del sector. Disponible: http://mim.promexico.gob.mx/swb/mim/Perfil_del_sector_erenovables/_lang/es. [Acceso: 01-Apr2018].

⁶⁹ C. A. García *et al.* (2015, Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and costs. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 545–552, 2015.

Tabla 1: Potencial técnico de producción de algunos recursos biomásicos de México⁷⁰

Tecnología de bioenergía	Energético residual desplazado	energético bruto (PJ)	energético neto (PJ)
Co-combustión de biomasa	Carbón	18	7
Combustión directa	Gas natural, carbón	710	189
Combustión directa (plantaciones)	Gas natural, carbón	140	42
Hornos eficientes de carbón (para la industria de fundición de hierro)	Carbón	34	11
Calderas de pellets de madera	Gasolina y diésel	64	64
Estufas eficientes	Madera tradicional	108	108
Hornos de carbón	Carbón tradicional	61	19
Fermentación (etanol de caña de azúcar)	Gasolina	338	338
Fermentación (etanol de granos)	Gasolina	84	84
Transesterificación (biodiesel de jatropha)	Diésel	36	36
Transesterificación (biodiesel de palma de aceite)	Diésel	120	120
	Total	1,713	1,018

⁷⁰ Op. cit., n. 69.

Si bien estos recursos energéticos se han aprovechado históricamente en México, las tecnologías que se utilizan hasta la fecha en su mayoría son insuficientes, llegando a tener impactos negativos tanto en la salud, como en el ambiente,⁷¹ salvo en algunas aplicaciones domésticas y agroindustriales y en la generación de biogás en rellenos sanitarios.

La biomasa presenta las siguientes ventajas: se le puede almacenar (lo que la convierte en una energía con fácil acceso, sin interrupciones por condiciones cíclicas o meteorológicas), hay una gran variedad de recursos de los que se puede obtener energía, alta eficiencia energética en su combustión, los residuos que deja son biodegradables y tienen un bajo nivel de emisiones contaminantes; además, es un recurso energético abundante.⁷²

Desde el punto de vista social, económico y ambiental, su uso es versátil; escalable; tiene aplicaciones para los principales usos finales de la energía (calor, electricidad, transporte); permite crear sinergias entre los sectores agrícola-forestal, energético, industrial, ambiental y social (economía circular); puede promover un desarrollo rural sustentable mediante la creación de fuentes de trabajo (se crean 135 puestos de trabajo directos por cada 10,000 usuarios), con la consecuente transferencia de recursos económicos desde las áreas urbanas hacia las áreas rurales. Cabe destacar que la producción sustentable de biomasa puede proporcionar servicios ambientales de tipo local y global, que incluyen la transformación de residuos en recursos económicos, control de la erosión del suelo, regulación del ciclo hidrológico y la conservación del hábitat de la fauna silvestre.⁷³

El uso de la biomasa, además, puede contribuir a la diversificación energética y reducir las emisiones de CO₂, así como la contaminación local. También representa beneficios a nivel local, como el aprovechamiento de desechos urbanos y agríco-

⁷¹ *Op. cit.*, n. 62.

⁷² *Op. cit.*, n. 63.

⁷³ *Op. cit.*, n. 64.

las, la disminución de riesgos sanitarios y de contaminación del agua y del aire. Por otra parte, la implementación de tecnologías mejoradas, como las estufas eficientes de leña y biogás permiten reducir la contaminación intramuros en las viviendas rurales.⁷⁴

La producción descentralizada de la biomasa permite la producción de bioenergéticos en pequeñas y medianas empresas, lo que facilita el desarrollo local. En lo respectivo a las plantaciones energéticas, al localizarlas en tierras degradadas, es posible rehabilitarlas.⁷⁵

Cuando la biomasa se produce y usa de manera sustentablemente, la bioenergía puede contribuir a la mitigación del cambio climático, debido al desplazamiento de combustibles fósiles, a la conservación o creación de sumideros de carbono y porque evita la deforestación. Cuando se usan residuos, se evita también la emisión de metano, que es un potente gas de efecto invernadero. El adecuado desarrollo de las aplicaciones energéticas mediante un uso más eficiente de los recursos o mediante la recuperación de residuos (como lo es el uso de estufas eficientes de leña, biodigestores), o a través de la generación de electricidad y calor mediante el aprovechamiento de desechos biomásicos agroindustriales, tenderá a cumplir con los ámbitos de la sustentabilidad.⁷⁶

Sin embargo, el uso de la biomasa también tiene sus desventajas, debido a que se requieren grandes áreas para su almacenamiento y posterior producción, y a que hay emisiones contaminantes durante su consumo y transporte, también tienen menor poder calorífico que los combustibles fósiles, y actualmente la producción de la bioenergía tiene costos altos.⁷⁷ Por otro lado, la bioenergía es intensiva en el uso de la tierra, ya que implica un abasto estrechamente relacionado con otras activida-

⁷⁴ *Idem.*

⁷⁵ *Idem.*

⁷⁶ *Idem.*

⁷⁷ *Op. cit.*, n. 63.

des económicas de la sociedad como el aprovechamiento de residuos de cultivos para fines energéticos (que a su vez se relaciona con la cantidad que se produce y de los usos alternativos que se le da); la producción de cultivos energéticos (que puede llevarse a cabo en grandes áreas); la producción de alimentos; además tiene un impacto importante en la biodiversidad; razones que lo hacen insostenible.⁷⁸ El uso no sustentable de la bioenergía lleva, por consecuencia, a la competencia en la producción de alimentos, al desplazamiento de pequeños productores, o incluso a la deforestación para el establecimiento de plantaciones de monocultivo; por lo que los diferentes proyectos deben desarrollarse bajo un esquema de sustentabilidad.⁷⁹

Si la producción de la bioenergía no se realiza con apego a los criterios de sustentabilidad y, además, su uso es ineficiente, se pueden tener impactos negativos; tal es el caso de la expansión en gran escala del área dedicada a la producción de biocombustibles líquidos de primera generación, que ha suscitado un intenso debate sobre su sustentabilidad ambiental, económica y social.⁸⁰

Además de las ventajas y desventajas que tiene la bioenergía que se dieron a conocer previamente, se presenta a continuación el potencial que tiene la biomasa en la producción de energía. En 2014, la biomasa aportaba el 4.22% del total de la energía primaria (principalmente madera forestal en forma de leña y carbón vegetal). En ese mismo año se estimó un consumo de 38,000,000 m³ de madera al año (3.5 veces superior al uso de madera en rollo en las industrias del papel, muebles y la construcción). De éstos, el 66% fue para autoconsumo y un 2% se utilizaba en la producción de carbón vegetal (2,500 toneladas en 2012). El resto se distribuyó en partes iguales entre el sector doméstico comercial y pequeñas industrias.⁸¹

⁷⁸ *Op. cit.*, n. 62.

⁷⁹ *Op. cit.*, n. 64.

⁸⁰ *Idem.*

⁸¹ J. Maximiliano y H. Villamar, Boletín IIE, 2015 La biomasa en la transición energética de México.

En México, los residuos orgánicos son una fuente importante en la producción de biogás para su uso en la generación de energía eléctrica, el transporte o en la producción de metano; con la biomasa forestal, se obtienen pellets que se pueden utilizar en la generación de calor o energía eléctrica a pequeña o gran escala.⁸²

La participación de bioenergía en la matriz de generación eléctrica fue del 0.46% en 2016, equivalente a 1,471 GWh; de éstos 1,276.4 GWh fueron con bagazo de caña y 194.8 GWh con biogás. Datos de la Secretaría de Energía, indican que al concluir 2016 se registraron 75 plantas de bioenergía dentro del sistema interconectado nacional, siendo la región Oriental la que mayor participación tuvo tanto en capacidad instalada como generación eléctrica, con el 47.5% y 45.7% respectivamente del total nacional (Fig. 8).⁸³



Figura 8: Capacidad y generación de centrales de bioenergía por región de control, 2016⁸⁴

⁸² *Op. cit.*, n. 64.

83 *Idem.*

84 *Idem.*

En México, la capacidad instalada para generar energía a partir de biomasa en 21 estados de la república sumó 623.5 MW. Veracruz es el estado que registró la mayor capacidad instalada con 264.1 MW, además de Jalisco, Tabasco y San Luis Potosí con 83.3, 41.7 y 40.7 MW, respectivamente.⁸⁵

Entre 2017 y 2031, se prevé un incremento de capacidad de 1,348 MW con 36 nuevas plantas, de las cuales el 79.1% son proyectos aún por desarrollar y el 15% ya están en construcción o por iniciar obras. Por otra parte, se prevé una mayor participación de la bioenergía en la matriz de generación eléctrica pasando de 3,412 GWh en 2017 a 12,666 GWh en 2031, lo que representa una participación de 2.8% dentro del total de generación.⁸⁶

⁸⁵ *Op. cit.*, n. 63.

⁸⁶ *Op. cit.*, n. 64.

Conclusiones

La energía es central para casi todos los grandes desafíos y oportunidades a los que hace frente el mundo actualmente. Ya sea para el empleo, la seguridad, el cambio climático, la producción de alimentos o para aumentar los ingresos. El acceso universal a la energía es esencial. La energía sostenible es una oportunidad, que transforma la vida, la economía y el planeta.

En el ámbito rural, las políticas públicas de generación de energía mediante grandes plantas de generación con energías renovables reproducen el viejo esquema de generación y no ayudan al bienestar y progreso del sector rural. La generación de energía distribuida, a través de pequeños centros de energía, con el propósito de hacerlos rentables y autosustentables, daría un impulso a estas comunidades al ser aplicada para la realización de actividades productivas comunitarias, tales como: artesanías, fabricación de ropa, zapatos, aprovechamiento de los recursos naturales de la región, alimentos, procesamiento de productos agropecuarios, fabricación de muebles, ecoturismo, y tantos otros productos y actividades que pudieran ser aprovechados y comercializados tanto en el país como ser exportados.

En otras palabras, se trata de efectuar una verdadera organización y capacitación de las fuerzas de trabajo de las comunidades rurales no limitándose hasta la comercialización de sus productos, sino apoyando la educación y capacitación de las nuevas generaciones de jóvenes y niños, dirigiendo los esfuerzos a un arraigo en su comunidad y una superación permanente con una calidad de vida satisfactoria.

Agradecimientos

Un agradecimiento muy especial a las siguientes personas que hicieron posible la realización de este documento: por su aportación a la sección de energía eólica al Dr. José Manuel Franco Nava del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, responsable técnico del Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE-Eólico); por su aportación a la sección de energía hidráulica al Ing. Flavio Francisco Ferrán y Riquelme del Instituto de Energías Renovables de la UNAM; por su aportación a la sección de energía oceánica por corrientes y mareas al Dr. Ismael Marino Tapia del CINVESTAV-Mérida y al Dr. Rodolfo Silva Casarín del Instituto de Ingeniería de la UNAM, responsable técnico del Centro Mexicano de Innovación en Energía Oceánica (CEMIE-Océano); por su aportación a la sección de energía geotérmica al Dr. Edgar Rolando Santoyo Gutiérrez y el Mtro. David Yáñez Ávila del Instituto de Energías Renovables de la UNAM y miembros del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CEMIE-Geo); por su aportación a la sección de recurso de biomasa al Dr. Fabio Manzini Poli y la Dra. Aida Viridiana Vargas Zavala del Instituto de Energías Renovables de la UNAM y miembros del Centro Mexicano de Innovación en Biocombustibles (CEMIE-Bio).



Sobre el autor

Octavio García Valladares

Ingeniero mecánico-electricista por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con mención honorífica; maestro y doctor, con honores *cum laude*, en ingeniería térmica, por la Universidad Politécnica de Catalunya, España.

Cuenta con dos patentes sobre productos de desarrollo e innovación tecnológica y un modelo de utilidad, además de siete patentes en trámite sobre captadores, sistemas de refrigeración solar y sistemas solares térmicos. Colaboró en la elaboración de las normas mexicanas vigentes NMX-ES-001-NORMEX-2005. Energía Solar-Rendimiento Térmico y Funcionalidad de Colectores Solares para el Calentamiento de Agua-Método de prueba etiquetado y la NMX-ES-004-NORMEX-2010. Energía Solar-Evaluación Térmica de Sistemas Solares para Calentamiento Agua-Método de Pruebas. Cuenta con siete registros de propiedad intelectual ante el INDAUTOR sobre el desarrollo de software para el diseño de captadores y sistemas solares térmicos para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales.

Responsable de varios proyectos en el Fondo Institucional de Fomento regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT).

Ha publicado artículos y libros sobre Energía Solar.

Obtuvo la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos 2010; el Primer lugar del Premio de Energías Renovables, en la categoría de Innovación 2006. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias desde 2010.

Actualmente es investigador titular "C" en el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM.

Apéndice: Metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 7:

7.1 De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.

7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.

7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

7.a De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

7.b De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

Objetivo de Desarrollo Sostenible 7.
Garantizar el acceso a la energía asequible,
segura, sostenible y moderna para todos
editado por la Comisión Nacional de los Derechos
Humanos, se terminó de imprimir en agosto de
2018 en los talleres de Impresos Publicitarios y
Comerciales, S. A. de C. V., Calle Delfín, manzana
130, lote 14, colonia Del Mar, Delegación Tláhuac,
C. P. 13270, Ciudad de México.

El tiraje consta de 1,000 ejemplares.

Este material fue elaborado con papel certificado
por la Sociedad para la Promoción del Manejo
Forestal Sostenible A. C. (Certificación FSC México).



CNDH

MÉXICO