

# 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:<sup>1</sup> **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.

---

<sup>1</sup> [www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/](http://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.<sup>2</sup>

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.<sup>3</sup>

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.<sup>4</sup>

<sup>2</sup> *Op. cit.*, n. 1.

<sup>3</sup> *Idem.*

<sup>4</sup> *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.<sup>5</sup>

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).<sup>6</sup>

## 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.<sup>7</sup>

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

<sup>5</sup> *Idem.*

<sup>6</sup> *Balance Nacional de Energía 2016*, SENER, p. 15.

<sup>7</sup> <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.”<sup>8</sup>

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%; teniendo decrementos de 0.6% en la hidroenergía y 1.4% en la geoenergía.<sup>9</sup>

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%.<sup>10</sup>

<sup>8</sup> [www.animalpolitico.com/2017/03/mexicanos-pueblos-aislados-conapo/](http://www.animalpolitico.com/2017/03/mexicanos-pueblos-aislados-conapo/)

<sup>9</sup> Op. cit., n. 6, p. 23.

<sup>10</sup> 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/m<sup>2</sup>/día,<sup>11</sup> siendo uno de los países con mayor potencial en el mundo (ver Fig. 1).



Figura 1. Irradiación solar directa en México. Fuente: INERE<sup>12</sup>

## 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

<sup>11</sup> 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](http://www.gob.mx/cre/documentos/presentaciones-en-foros-publicos-y-conferencias-de-la-comision-reguladora-de-energia)

<sup>12</sup> 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:<sup>13</sup>

**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.

<sup>13</sup> 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](http://www.forde-cyt.ier.unam.mx/pdfTermoSolar.pdf)



Figura 2. Captador solar: a) captador plano descubierto; b) captador plano protegido; c) tubos de vacío<sup>14</sup>

**Captador solar para calentamiento directo de aire.**<sup>15</sup> Incluye prácticamente los mismos elementos que el de calentamiento de agua: una superficie absorbbedora 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:<sup>16</sup> 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).

<sup>14</sup> Op. cit., n. 13, p. 48-49.

<sup>15</sup> Op. cit., n. 13, p. 55.

<sup>16</sup> Op. cit., n. 13, p. 49-50.

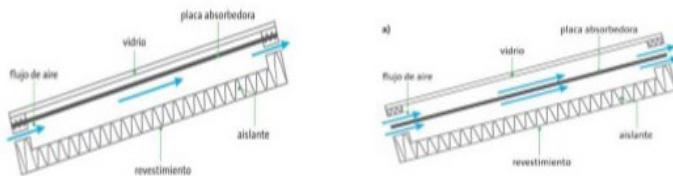


Figura 3. Captador solar para calentamiento de aire: a) circulación del aire entre el absorbedor y el aislamiento térmico, b) circulación de aire por ambos lados del absorbedor<sup>17</sup>

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**<sup>18</sup> (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

<sup>17</sup> Op. cit., n. 13, p. 60-61.

<sup>18</sup> 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) autocontenido<sup>19</sup>

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.

<sup>19</sup> Op. cit., n. 13, p. 50-53.

## APLICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS TERMOSOLARES

### Acondicionamiento de agua para piscinas o estanques.<sup>20</sup>

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.**<sup>21</sup> 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 m<sup>2</sup>; **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

<sup>20</sup> Op. cit., n. 13, p. 79-87.

<sup>21</sup> 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.**<sup>22</sup> 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%,<sup>23</sup> 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 SENER<sup>24</sup> 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.

<sup>22</sup> Op. cit., n. 13, pp. 101-109.

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

<sup>24</sup> 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 FOTOVOLTAICA<sup>25</sup>

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

<sup>25</sup> 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](http://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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>. 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.

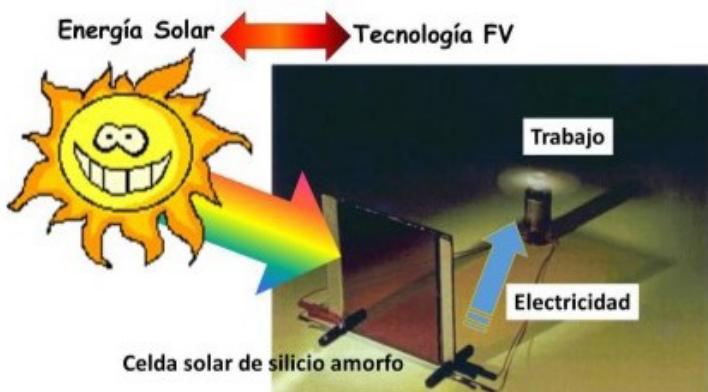


Figura 5. Concepción del binomio de generación de energía limpia: energía solar y tecnología fotovoltaica<sup>26</sup>

<sup>26</sup> 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 económica mente.

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:<sup>27</sup> **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,

<sup>27</sup> *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.<sup>28</sup> La tasa media anual de crecimiento de la generación eólica desde 2004 ha sido de 86%.

<sup>28</sup> 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*,<sup>29</sup> 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;

---

<sup>29</sup> 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.<sup>30</sup> 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

<sup>30</sup> 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.<sup>31</sup>

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.

<sup>31</sup> 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.<sup>32</sup> 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.<sup>33</sup> En regiones con caudales extremadamente fuertes, las corrientes pueden proporcionar una potencia suficiente y posiblemente rentable.<sup>34</sup> Se estima una potencia global de la energía en 5 TW, con densidades de energía alcanzando los 5 kW/m<sup>2</sup>.<sup>35</sup>

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).

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

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

<sup>34</sup> *Op. cit.*, n. 32.

<sup>35</sup> 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/](http://www.boem.gov/Ocean-Current-White-Paper-2006/)

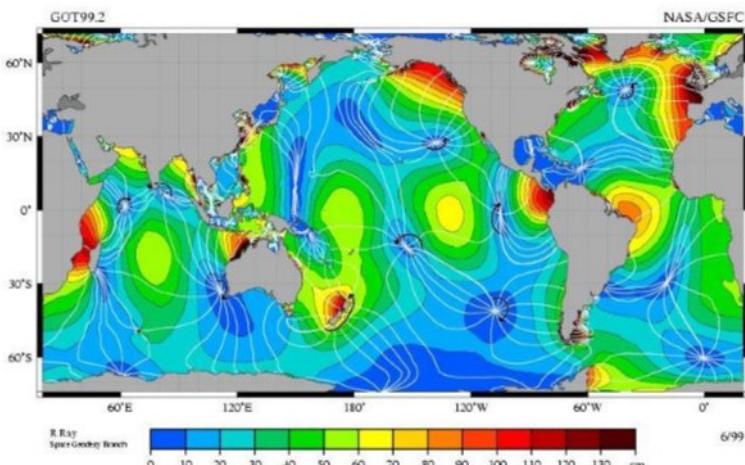


Figura 6. Mapa cotidal, marea M2 semi diurna<sup>36</sup>

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.<sup>37</sup>

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.<sup>38</sup>

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

<sup>37</sup> *Op. cit.*, n. 32.

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

En México, se tiene documentado el proyecto IMPULSA IV,<sup>39</sup> 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.<sup>40</sup> 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

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

<sup>40</sup> 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.<sup>41 42 43</sup> 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.<sup>44 45 46</sup> 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.<sup>47</sup>

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

<sup>41</sup> 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.

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

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

<sup>44</sup> *Op. cit.*, n. 43.

<sup>45</sup> 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.

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

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

mundial.<sup>48</sup> 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.<sup>49</sup>

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.<sup>50</sup>

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).<sup>51</sup>

---

<sup>48</sup> 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/](http://www.thinkgeoenergy.com/breaking-news-turkey-breaks-into-the-1-gw-geothermalcountry-club/)

<sup>49</sup> 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](http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/treMiguelGG09.pdf)

<sup>50</sup> 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.

<sup>51</sup> 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](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.<sup>52</sup> 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.<sup>53</sup> 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.

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

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

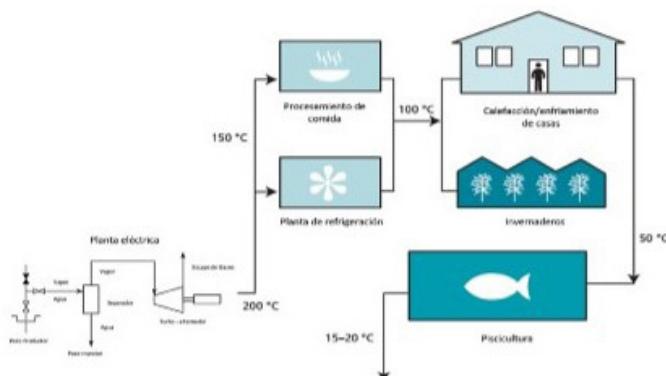


Figura 7. Producción en cascada de la energía geotérmica<sup>54</sup>

Existen diversas formas versátiles y comunes de emplear el recurso geotérmico.<sup>55</sup> 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.<sup>56</sup> 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

<sup>54</sup> Op. cit., n. 52.

<sup>55</sup> Op. cit., n. 42.

<sup>56</sup> 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\\_d8749666bd3e7d34d-19083478ff70b87](https://ac.els-cdn.com/037565059290012X/1-s2.0-037565059290012Xmain.pdf?_tid=35352c18-af1c-4279-b2a7-57bd86023bef&acdnat=1521741145_d8749666bd3e7d34d-19083478ff70b87)

energía geotérmica a diversos productos industriales, agrícolas y piscícolas.<sup>57</sup>

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.<sup>58 59</sup> 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.<sup>60</sup> 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.<sup>61</sup>

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.

<sup>57</sup> Op. cit., n. 53.

<sup>58</sup> Op. cit., n. 50.

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

<sup>60</sup> 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.

<sup>61</sup> 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,<sup>62 63 64</sup> incluyendo a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Esta biomasa tiene distintos tipos de procesamiento:<sup>65</sup> a) biocombustibles sólidos, pueden quemarse directamente o previa gasificación o pirólisis, para producir calor y electricidad. Un ejemplo son: la leña, carbón vegetal,

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

<sup>63</sup> Bioenergía- OISE. Disponible: [www.oise.mx/biomasa](http://www.oise.mx/biomasa). [Acceso: 01-Abril-2018].

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

<sup>65</sup> 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.<sup>66</sup>

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.<sup>67 68</sup> 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.<sup>69</sup>

<sup>66</sup> Op. cit., n. 64.

<sup>67</sup> Idem.

<sup>68</sup> ProMéxico: Mapa de Inversión en México - Perfil del sector. Disponible: [http://mim.promexico.gob.mx/swb/mim/Perfil\\_del\\_sector\\_erenovables/\\_lang/es](http://mim.promexico.gob.mx/swb/mim/Perfil_del_sector_erenovables/_lang/es). [Acceso: 01-Apr2018].

<sup>69</sup> 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 México<sup>70</sup>

Tecnología de bioenergía	Energetico rosul 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

<sup>70</sup> 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,<sup>71</sup> 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.<sup>72</sup>

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.<sup>73</sup>

El uso de la biomasa, además, puede contribuir a la diversificación energética y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como la contaminación local. También representa beneficios a nivel local, como el aprovechamiento de desechos urbanos y agríco-

<sup>71</sup> *Op. cit.*, n. 62.

<sup>72</sup> *Op. cit.*, n. 63.

<sup>73</sup> *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.<sup>74</sup>

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.<sup>75</sup>

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.<sup>76</sup>

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.<sup>77</sup> Por otro lado, la bioenergía es intensiva en el uso de la tierra, ya que implica un abasto estrechamente relacionado con otras activida-

<sup>74</sup> *Idem.*

<sup>75</sup> *Idem.*

<sup>76</sup> *Idem.*

<sup>77</sup> *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.<sup>78</sup> 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.<sup>79</sup>

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.<sup>80</sup>

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 m<sup>3</sup> 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.<sup>81</sup>

<sup>78</sup> *Op. cit.*, n. 62.

<sup>79</sup> *Op. cit.*, n. 64.

<sup>80</sup> *Idem.*

<sup>81</sup> 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.<sup>82</sup>

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).<sup>83</sup>



Figura 8: Capacidad y generación de centrales de bioenergía por región de control, 2016<sup>84</sup>

<sup>82</sup> Op. cit., n. 64.

<sup>83</sup> Idem.

<sup>84</sup> 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.<sup>85</sup>

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.<sup>86</sup>

---

<sup>85</sup> *Op. cit.*, n. 63.

<sup>86</sup> *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.