

# Impacto en la generación de electricidad con fuentes no convencionales de energía en el sistema electroenergético mexicano

Alfredo G. M. Gámez  
Javier Cabrera  
Francisco E. López

Manuel Reta  
Oscar Cruz

Recibido: Abril del 2008  
Aprobado: Mayo del 2008

## Resumen / Abstract

En este artículo, se realiza un análisis pormenorizado sobre la contaminación ambiental provocada por el consumo de combustibles fósiles en la producción de electricidad, lo cual ha motivado una reevaluación a nivel mundial del uso de las energías renovables. La producción de electricidad con fuentes renovables depende de múltiples factores. Aquí se realiza un estudio sobre los problemas asociados a las fuentes tradicionales con combustibles fósiles, enfatizándose en los daños que provoca el uso indiscriminado de estos recursos energéticos.

En el artículo también se presenta un estudio sobre la utilización de fuentes no convencionales de energía como alternativa para disminuir la crisis energética que se vislumbra para mediados del siglo actual.

Palabras clave: Fuentes inversoras de potencia, fuentes fotovoltaicas, fuentes alternas, fuentes no convencionales y fuentes inversores fotovoltaicos

*In this article, we performed a detailed analysis on the environmental pollution caused by the consumption of fossil fuels in the production of electricity, which has prompted a reevaluation of the global use of renewable energy. The production of electricity from renewable sources depends on many factors. This paper is a study on the problems associated with traditional energy sources with fossil fuels, emphasizing on the danger of indiscriminate use of these energy resources. Also is studied the use of non-conventional sources of energy as an alternative to lessen the energy crisis that is looming for the middle of this century.*

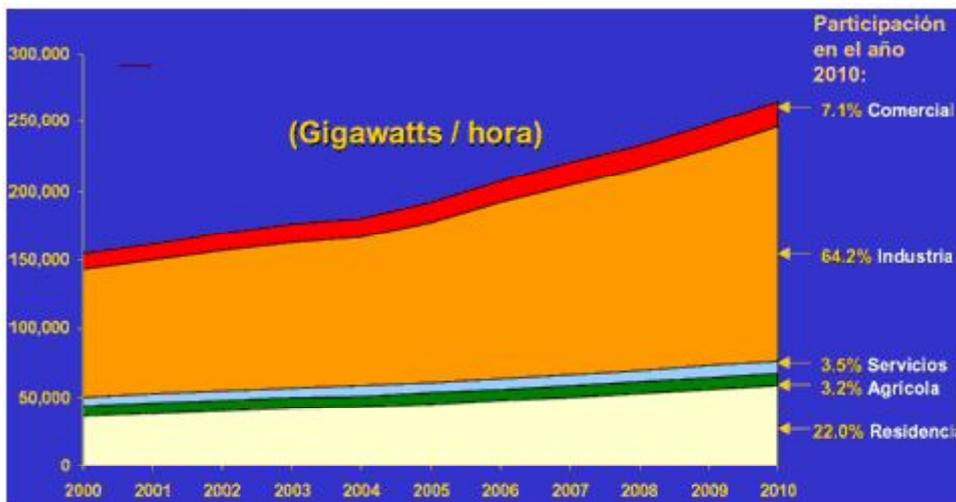
*Key words: Power inverter sources, photovoltaic sources, alternative sources, non-conventional sources and inverters photovoltaic sources*

## INTRODUCCIÓN

Actualmente las naciones en desarrollo dependen fundamentalmente del crudo para satisfacer sus necesidades energéticas y para más de dos tercios de estas, la dependencia es vital pues cubre alrededor del 70 % de las necesidades.<sup>1,2</sup>

De acuerdo con la Secretaría de Energía,<sup>3</sup> la capacidad efectiva de generación de electricidad en el país a finales del 2004 fue de 44,9 GW, registrando un

crecimiento promedio anual del 5,1 % durante los últimos cinco años. Del total de la capacidad instalada, el 60% se genera en plantas termoeléctricas (23,8 GW) y carboeléctricas (2,6 GW), emitiéndose con ello más de 60 millones de toneladas de CO<sup>2</sup> al medio ambiente.<sup>4</sup> Manteniendo el mismo ritmo de crecimiento por año para el 2010 casi se duplica la demanda de electricidad registrada en el año 2000 como se muestra en la figura 1.



Demanda de electricidad en México 2000-2010.

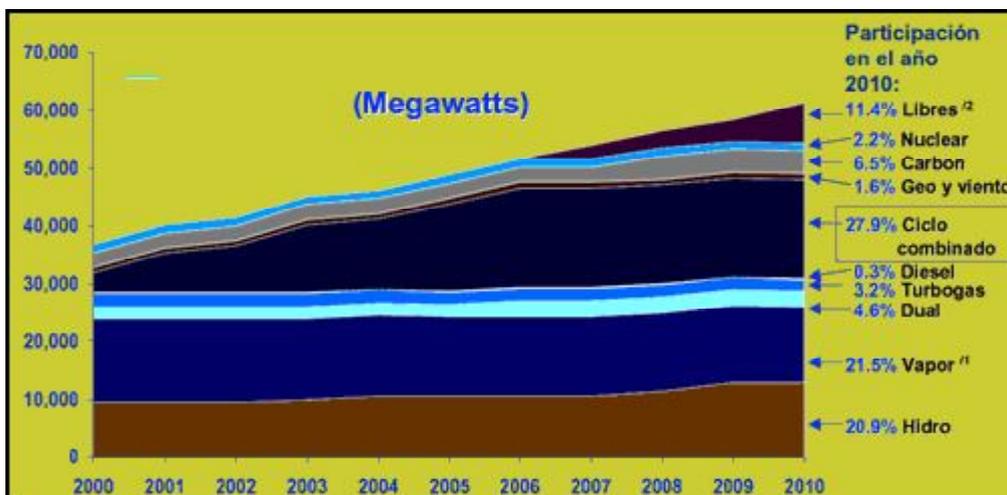
1

Si el índice de crecimiento registrado en los últimos años continúa, será necesario aumentar en los próximos diez años casi la mitad de la capacidad instalada actualmente, aumentando con ello el problema de emisión de contaminantes producida por la quema de combustibles fósiles.

Con el fin de disminuir la contaminación ambiental y aportar soluciones a este tipo de problemas, México se sumó en 1993 al esfuerzo internacional por mitigar el cambio climático global al adherirse a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y ratificó el Protocolo de Kyoto en el año 2000. Asimismo, México también apoyó la *Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el desarrollo Sostenible* en la Cumbre Mundial de Desarrollo Sustentable en Johannesburgo, Sudáfrica, en la cual se fija la meta de implementar el uso de al menos un

10% de la energía renovable, no contaminante, del porcentaje total energético para el año 2010 según datos de la Secretaría de Energía,<sup>3</sup> los cuales se muestran en la figura 2.

A pesar de los esfuerzos de crecimiento y modernización del sector eléctrico, la electricidad aún no llega a cerca de 5 millones de personas localizadas en zonas rurales. La creciente demanda de electricidad en México, aunada a la constante emisión de contaminantes a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles, ha incrementado también el interés en la explotación de las fuentes alternas de energía, que puedan ayudar a la solución de demanda de energía eléctrica sin los problemas de contaminación. Una de esas fuentes alternas es la energía solar.



Producción de electricidad en México 2000-2010.

2

Para encontrar nuevas fuentes de energía que produzcan un menor impacto ambiental y su utilización de manera eficiente con políticas racionales de ahorro energético se deben tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Realizar una correcta prospección de las posibilidades específicas de empleo de fuentes alternativas de energía, renovables o no, en cada región.
- Lograr una combinación de las vías anteriores de manera que se produzca una reducción significativa en el porcentaje que representan los combustibles fósiles en el balance energético mundial.
- Reducción en la emisión de residuos tóxicos al medio ambiente.
- Disminución de la dependencia que existe entre el futuro de la civilización y los portadores energéticos convencionales.
- Reducir la demanda, a través del ahorro y la elevación de la eficiencia, es una vía probada para contribuir al logro de estos propósitos que sin embargo no atacan la esencia del problema.
- Encontrar nuevas fuentes de energía no erosivas al medio ambiente, como la energía eólica, y la energía solar entre otras, es una contribución para reducir el problema medioambiental.

De este análisis se puede concluir que el empleo racional de las fuentes de energía que minimicen el impacto ambiental será la solución óptima.

## FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA

Las fuentes alternas de energía emplean la energía solar, las mareas, las corrientes y olas del mar, así como los gradientes de temperatura. La biomasa es también una fuente de energía renovable que sin embargo no cumple con los requisitos de relativa limpieza en su producción. En orden de sus potencialidades, se tiene:

- Nucleoenergética.
- Hidroenergética
- Helioenergética
- Eoloenergética
- Geotermoenergética
- Fotovoltaicas

Toda la energía denominada energía renovable (excepto la energía maremotriz y la energía geotérmica), y aún la energía proveniente de los combustibles fósiles tienen su origen, eventualmente, en la energía proveniente del sol. Se estima que el planeta recibe  $1,74 \times 10^{14}$  kW de potencia de radiación solar.<sup>5,6</sup> Si la superficie de la tierra cubierta por el sol en cualquier instante dado es de  $1,27 \cdot 10^{14} \text{m}^2$  (cuarta parte de la superficie total), entonces, la potencia recibida por metro cuadrado en el planeta es de 1,37 kW.

Del total de energía solar recibida sobre el planeta, se considera que entre el 1 % y 2 % es convertida a

energía eólica. Esto es, la potencia ideal disponible del viento es de aproximadamente  $3,48 \cdot 10^{12}$  kW.<sup>5,6</sup>

## ENERGÍA EÓLICA

El viento es utilizado en calidad de fuente de energía desde que el hombre comenzó a dar sus primeros pasos en el dominio de la naturaleza. Fue el viento el que impulsó las embarcaciones fenicias y egipcias, el que hizo navegar a los primeros pobladores del Perú a través del Pacífico, fue este el que trajo a Cristóbal Colón a América y el que además condujo a Magallanes a través del estrecho para dar la primera vuelta al mundo.

Cuando la cinética del viento es extremadamente complicada, los principios básicos de sus orígenes son relativamente simples. El viento se produce por diferencias de presión generadas por el calentamiento no uniforme de la atmósfera, teniendo las regiones cercanas al Ecuador un mayor calentamiento que el resto del planeta, de modo que se provoca convección atmosférica desde la zona del Ecuador hasta la estratósfera, en dirección a las zonas polares.

Si el planeta se mantuviera fijo, el viento producido fluiría de la zona del ecuador hasta alcanzar alturas de 10 km en la atmósfera, y luego fluiría hacia las zonas frías de los polos, y nuevamente bajaría hasta las zonas calientes del Ecuador. Sin embargo, debido a la rotación de la tierra, el viento producido es muy variable dependiendo de la región en particular, teniendo altas velocidades a grandes alturas (alrededor de 44,5 m/s) y haciéndose muy irregular cerca de la superficie debido a la humedad y fricción del viento sobre el terreno, entre otros factores.<sup>6</sup>

Se ha observado que la velocidad del viento crece proporcionalmente a la raíz séptima de la altitud (Ley de la  $1/7^{\text{a}}$  potencia).<sup>5,6</sup> Dado que la gran mayoría de centros meteorológicos instalados en el mundo registran mediciones de viento a 10 m de altura sobre el nivel de piso (snp), en puntos libres de obstáculos cercanos, se infiere la velocidad del viento a mayores alturas con esta relación.

La potencia que puede obtenerse del viento que atraviesa un área, circula en forma perpendicular y varía con el cubo de la velocidad de viento (ecuación 1).

$$P = \rho v^3 \frac{\pi r^2}{2} \quad \dots (1)$$

donde:

$P$  = Potencia en watts

$r$  = Densidad del aire ( $1,225 \text{ kg/m}^3$  a presión atmosférica del nivel del mar a  $15^\circ\text{C}$ ).

$v$  = Velocidad del viento en metros por segundo (m/s).  
 $r$  = Radio del rotor (aspas) en metros.

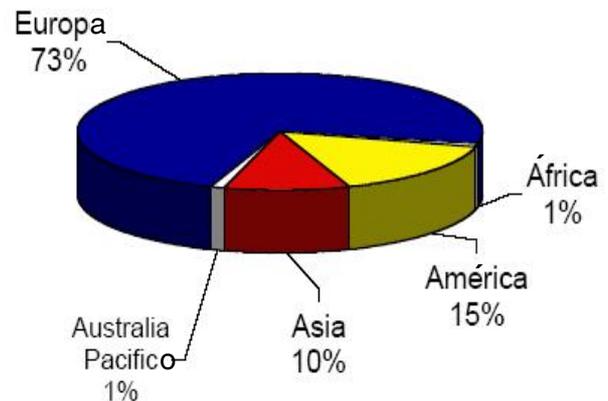
El documento de Evaluation of Global Wind Power,<sup>7</sup> reporta valores de velocidad del viento a 80 m de altura, extrapolando con el método de los mínimos cuadrados los valores reportados a 10 m de altitud.

Es, de acuerdo con World Wind Energy Association,<sup>8</sup> a fines del año 2004 la capacidad instalada de potencia eléctrica obtenida del potencial eólico en el mundo, fue de 47, 616 MW. En la figura 3 se puede observar que en los últimos 5 años la capacidad instalada ha crecido a un ritmo del 34 % anual, siendo la energía eoloelectrónica la fuente renovable con más alto crecimiento.<sup>9,10</sup>

La distribución de la capacidad instalada, por continente se muestra en la figura 4.

Es el viento una fuente absolutamente renovable de energía con un caudal inagotable calculado en más de ( $10^{12}$ MW-h), lo que representa una cantidad varias veces superior a la que almacenan todos los ríos de la tierra. Esta es una energía totalmente gratis y no contaminante.

Los pioneros en la utilización de la energía eólica en la generación de electricidad fueron los norteamericanos, que en las primeras décadas de este siglo producían ya sistemas de conversión de energía eólica para generadores de corriente directa entre 6 y 32V con algunos modelos posteriores que producían 110V.

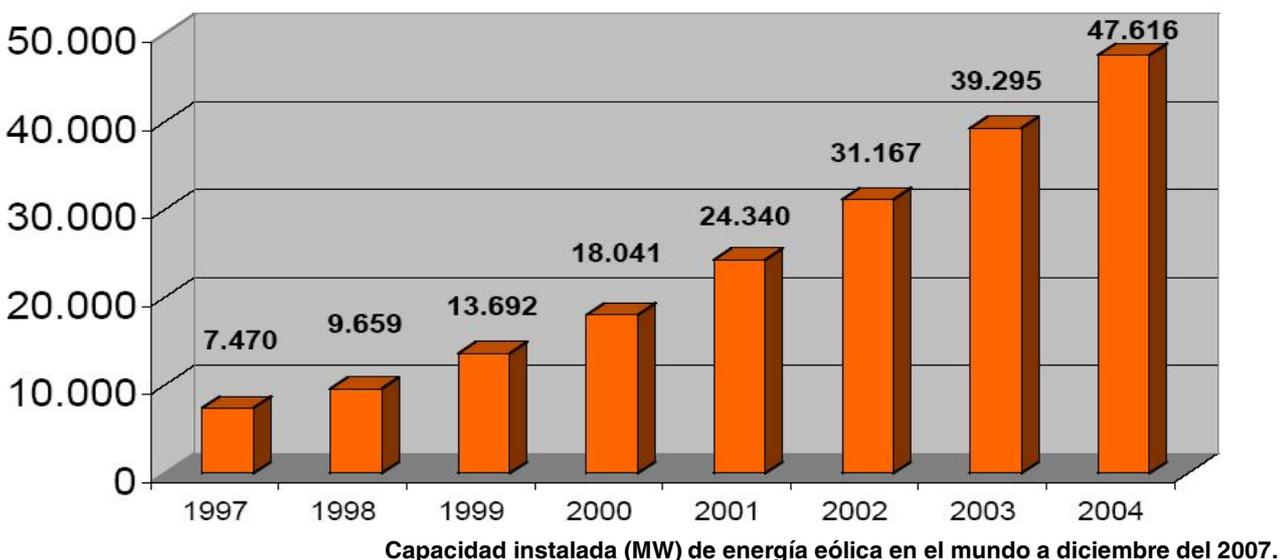


**Capacidad de energía eólica instalada por continente a diciembre del 2007.**

2

Una de las principales dificultades de las plantas de generación eólicas, consiste en que la extremada variabilidad del viento provoca la salida temporal de funcionamiento de estas plantas. Resulta obvio que si se tiene una muy baja velocidad del viento la cantidad de energía transmitida por este no resultará suficiente para la correcta operación de la turbina y esta deberá ser desconectada. Por otra parte, si el viento adquiere velocidades demasiado altas que pudieran dañar la instalación, en una tormenta por ejemplo, esta deberá ser desconectada y frenada para evitar que las altas velocidades de rotación que pueden ser alcanzadas terminen por dañar la turbina.

Otra desventaja esencial es la capacidad que tenga la fuente de producir electricidad en el momento del pico eléctrico o sea cuando más lo necesita el sistema electroenergético. En la actualidad sólo el 20 % de la potencia generada con este tipo de fuentes es suministrada en este período.



**Capacidad instalada (MW) de energía eólica en el mundo a diciembre del 2007.**

3

## PANORAMA MUNDIAL

Los cinco países con mayor capacidad instalada hasta diciembre de 2004, de acuerdo con el World Wind Energy Association,<sup>8</sup> son: Alemania, España, Estados Unidos, Dinamarca y la India, con capacidad instalada total de 37,7 GW. Se espera que en los próximos años, el proceso de diversificación aumente, con un desarrollo más fuerte en varias partes del mundo.

Europa continúa siendo el continente con mayor desarrollo de energía eólica del mundo con una capacidad instalada de 34,6 GW (72,7 % de la capacidad total). Por más de una década, Alemania fue el país con mayor capacidad añadida anual, pero en 2004 España superó a Alemania en este rubro (8,263 MW instalados en 2004) debido a las reformas que el país ibérico hizo a su legislación.

Surgieron en Europa varios mercados mayores de 100 MW en 2004, con un crecimiento mayor al 50 % en Noruega, Irlanda Portugal y Francia.

La capacidad instalada de energía eólica en el continente americano representa solo el 15,4 % de la capacidad total mundial (7,336 MW). El mercado de Estados Unidos, después de un récord logrado en 2003, disminuyó su crecimiento en 2004 debido al retraso en la continuación de subsidio al impuesto a la producción eólica (finalmente se logró prolongar el subsidio por dos años más), logrando una capacidad adicional de 370 MW (crecimiento del 5,8 %) en 2004 después de haber añadido 1 685 MW en 2003.

Canadá ha conservado su porcentaje de crecimiento anual (38 %), añadiendo 122 MW de capacidad en 2004.

Ningún país latinoamericano figura entre los 20 primeros mercados eólicos, aunque Brasil espera tener un desarrollo substancial entre 2006 y 2007. México tiene una capacidad eólica instalada de 2,2 MW. Sin embargo, no aparece en la distribución de capacidad instalada por países.

Asia tiene el 9,9 % (4,726 MW) de la capacidad eólica total. La India es una vez más el mercado energético líder de Asia con una capacidad añadida de 875 MW en 2004. Entre los líderes de Asia se encuentra Japón (896 MW), el que tuvo el más alto crecimiento en los mercados asiáticos (77,1 %), y China (764 MW), del cual se espera un crecimiento substancial en los próximos años, según se declaró en la Conferencia Mundial de Energía Eólica del 2004. Es interesante notar que la capacidad añadida por Japón superó la capacidad añadida por Estados Unidos en 2004.

La región del pacífico del continente australiano ha sido una de las más dinámicas en 2004. Tanto Aus-

tralia como Nueva Zelanda tuvieron los mercados de crecimiento más altos, Australia duplicando (de 197 MW a 379 MW), y Nueva Zelanda cuadruplicando (de 36 MW a 168 MW) su capacidad instalada.

En África, se instalaron 392 MW a finales de 2004. Egipto conservó su posición de líder en el continente africano con una capacidad instalada de 300 MW. Aunque se ha registrado poco avance en el resto de los países africanos, se esperan nuevas instalaciones en Marruecos, Egipto Túnez y Sudáfrica.

## POTENCIAL EÓLICO EN MÉXICO

Varias regiones dentro del territorio mexicano tienen gran potencial eólico. La región con mayor potencial eólico se encuentra en el Istmo de Tehuantepec, en el Estado de Oaxaca, con velocidades de viento promedio anual de poco más de 9 m/s registradas a 30 m de altura sobre el nivel del piso, lo que la hace una de las mejores regiones a nivel mundial para la producción de electricidad con una capacidad estimada de 2 000 MW.

Otras regiones con buen potencial eólico, tal como se encuentran en los Estados de Baja California Sur, Quintana Roo, Yucatán y Zacatecas. Desafortunadamente, no se cuenta con mapas eólicos completos de todas las regiones del país. Solamente el Estado de Oaxaca cuenta con un estudio muy completo sobre su capacidad eólica, patrocinado por el Departamento de Energía y la Agencia para Desarrollo Internacional de Estados Unidos.<sup>11</sup> Solo existen algunos mapas eólicos, desarrollados por el mismo Departamento de Energía de Estados Unidos, de ciertas zonas de los Estados de Baja California Sur, Yucatán, Quintana Roo, y algunas porciones de los estados colindantes con la frontera norte.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) construyó en 1994 una planta eólica llamada La Venta I, en la zona de la Ventosa, en Oaxaca, con siete turbinas eólicas de manufactura Danesa tipo Vesta V27, cada una con capacidad de 225 kW. Entre julio de 1994 y diciembre de 1997, la planta eléctrica produjo más de 18,5 GWh de energía eléctrica, evitando con ello la combustión de 29 000 barriles de petróleo en planta termoeléctrica que hubieran producido más de 14 000 toneladas de gases contaminantes.<sup>12</sup> CFE también ha desarrollado un sistema de aerogeneración de 600 kW en Guerrero Negro, BCS, y otros tres de ellos están en proyecto para alimentar a las comunidades de Puerto Alcatraz, Isla Cedros y San Juanico en el mismo estado.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) inició sus estudios de generación eólica en 1977 en la estación experimental eoloeléctrica de El Gavillero, en Huichapan, Hidalgo, en donde se instalaron varios prototipos de aerogeneradores y se proyectan construir

granjas eólicas en los próximos años en esa región de acuerdo con Industry and Business News,<sup>13</sup> con una capacidad instalada de 6 000 MW a través de un consorcio internacional formado por las compañías Fuhrlander (Alemania), Endesa, Gamesa Energía, Iberdrola y Fuerza Eólica (España) y Dewind y ABB (Finlandia). Todo ello con una inversión de \$ 5 000 millones de dólares. Según reportes del Dow Jones Newswires,<sup>14</sup> las compañías españolas de energía eólica Gamesa Corporación Tecnológica S.A. (GAMMC) e Iberdrola S.A. (IBEMC) se adjudicaron en septiembre de 2005 un contrato de 111 millones de euros para producir 83 MW de potencia eléctrica con energía eólica en el Estado de Oaxaca a través de la instalación de 98 turbinas eólicas. Los aerogeneradores entrarán en funcionamiento en noviembre de 2006 en la región de La Venta II.

## ENERGÍA SOLAR

La radiación solar, constituye un flujo energético permanente, disponible con mayor o menor intensidad en todo el planeta, perfectamente aprovechable con tecnologías poco sofisticadas y adaptadas a los pequeños consumos descentralizados o de baja accesibilidad, si toma en consideración que la tierra recibe del sol 173 000 terawatt (TW), (1TW=  $10^{12}$  watts), esto es equivalente a  $10^4$  veces la potencia total actual instalada.

La energía solar ha pasado de tener un papel testimonial en el conjunto del abastecimiento eléctrico mundial a ocupar un lugar importante, tanto por su aportación al conjunto de la producción energética como por sus perspectivas de futuro. Ello ha sido debido fundamentalmente a dos factores: Por un lado, la investigación y desarrollo de nuevos equipos, que han permitido un progresivo abaratamiento de los costos de las instalaciones. Por otro lado, el aumento de la conciencia en cuestiones medioambientales, especialmente en lo que se refiere a la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, que se puede conseguir con una mayor inversión en producción de energía a partir de energías renovables.

Teniendo en cuenta lo anterior, parece previsible que se extienda el uso de las instalaciones de pequeña potencia, muchas de ellas en viviendas. En este tipo de sistemas es muy interesante reducir al máximo el tamaño de los convertidores de energía eléctrica.

## EL SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA

El sol es una esfera, de unos 700 000 km de radio, constituida por una mezcla de gases compuesta, fundamentalmente, por un 70 % de hidrógeno y un 27 % de helio.

En el núcleo del sol se producen continuamente reacciones nucleares de fusión que son la fuente de su energía. Esta energía fluye hacia capas externas y hacia el espacio por mecanismos de convección y radiación.

Desde el punto de vista de su aprovechamiento energético puede considerarse como una esfera que emite una radiación, que transmite a través del espacio a la velocidad de la luz, que se distribuye en una banda de longitudes de onda equivalentes a la de un cuerpo negro a 6,000 K. La energía radiante del sol que se recibe en el exterior de la atmósfera terrestre es la denominada constante solar y vale 1,353 W/ m<sup>2</sup>.

## RADIACIÓN SOLAR TERRESTRE

Para alcanzar la superficie terrestre la radiación solar debe atravesar la atmósfera donde experimenta diversos fenómenos de reflexión, absorción, y difusión que disminuyen la intensidad final.

La radiación que llega directamente del sol es la denominada radiación directa y la que previamente es absorbida y difundida por la atmósfera (muy significativa, por ejemplo, en días nublados) es la radiación difusa.

La radiación solar, tanto directa como difusa, se refleja en todas las superficies en las que incide, dando lugar a la radiación reflejada. La reflexión dependerá de las características y naturaleza de la superficie reflectora.

La radiación solar global es la suma de los tres tipos antes citados, directa, difusa y reflejada, y es la que puede aprovecharse para su transformación térmica.

Se entiende por captación térmica de la energía solar, al procedimiento de transformación de la energía radiante del sol en calor o energía térmica utilizable en instalaciones fotovoltaicas para el suministro de electricidad, en zonas de difícil acceso y en instalaciones térmicas, por ejemplo: calentadores, de agua, para usos industriales, calefacción, calentamiento de piscinas, secaderos, etcétera.

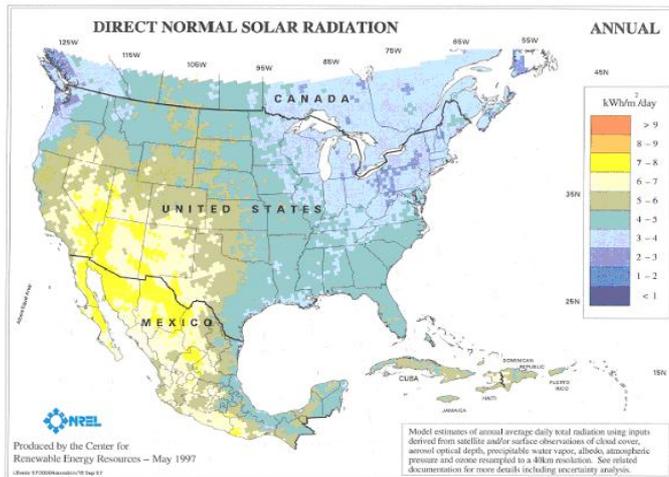
## POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

La radiación solar en el territorio mexicano aprovechable tiene un promedio de 5 kW por metro cuadrado según datos de CONAE.<sup>15</sup>

El enorme potencial solar con que cuenta México puede estimarse de la siguiente manera, si se considera que se pueden instalar 2 000 MW de concentradores solares en 30 km<sup>2</sup> y el desierto de Altar tiene un área de 50 000 km, entonces el potencial

de la energía solar de ese desierto es de 3 333 000 MW.

En la figura 5, se muestra la radiación solar en el territorio mexicano.



**Radiación solar en México.**

## IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

La forma de generar energía directamente desde el sol sin la presencia de un proceso de combustión constituye un procedimiento limpio y exento de contaminación por lo que no es agresivo al medio ambiente.

La energía procedente del sol no emplea combustible fósil por lo tanto en el proceso de generación de energía eléctrica a partir de la energía solar no se emiten partículas sólidas en suspensión al medio ambiente como ocurre en los procesos de generación de energía eléctrica convencionales. Además, al no emplearse otros tipos de combustibles no están presente los impactos medioambientales ocasionados por la extracción, transformación, transporte y combustión, lo que hace de la energía solar, una fuente alternativa, beneficiosa para el agua, el suelo, la atmósfera, la fauna, entre otros beneficios directos al usuario ya que es un procedimiento limpio y no contaminante.

Las energías convencionales tienen un impacto ambiental tan elevado que provocan un deterioro progresivo de las condiciones atmosféricas del planeta por lo cual se recomienda incursionar en fuentes renovables de energía no agresivas al medio ambiente como la energía solar, sin embargo, por falta de conciencia medioambiental hoy en día la energía eléctrica generada con fuentes no convencionales a penas rebasa el 6 %, excepto en aquellos países donde existen grandes potenciales de energía

hidráulica en los cuales se han alcanzado índices de generación con fuentes renovables de alrededor del 18 %. Actualmente se han venido desarrollando amplios planes de intensificación del aprovechamiento de las energías renovables como una alternativa en la generación de electricidad y se estima que para el año 2010 estas fuentes alternativas alcancen el 29 % de la energía eléctrica disponible, lo que representaría un 67 % superior a la energía eléctrica generada en las plantas nucleares según estudios realizados en la Universidad de Stanford.<sup>16</sup>

La utilización de la energía solar para la generación de electricidad está en franco desarrollo por ser un potencial muy alto y no contaminante al medio ambiente lo que contribuye a elevar la calidad de vida en el planeta.

## CONCLUSIONES

1. El empleo de fuentes de energía que eviten los combustibles fósiles, es la única solución viable ante los problemas energéticos ambientales.
2. En las actuales condiciones ambientales del planeta con altos niveles de contaminación se hace cada vez más urgente el empleo efectivo de todos los portadores energéticos, haciéndose imprescindible potenciar el empleo de fuentes alternativas de energía.
3. Tanto la energía eólica como la solar por sus características no agresivas al medio ambiente y sus potencialidades constituyen una alternativa en desarrollo de fuentes de energía renovable de mayores perspectivas.
4. El recurso energético eólico tiene grandes expectativas de explotación para la producción de electricidad a nivel mundial. El crecimiento de la capacidad instalada de aerogeneradores ha sido del 35 % anual durante los últimos cinco años, alcanzando cerca de los 50 000 MW.
5. La capacidad instalada de aerogeneración en México es de aproximadamente 2,2 MW, sin crecimiento durante los últimos diez años, a pesar de contar con zonas de alto potencial eólico. Sin embargo, se planea incrementar 86 MW en el 2006 con aerogeneradores instalados en el Estado de Oaxaca.
6. Deben mantenerse los ritmos de generación de energía eléctrica con otros tipos de fuentes como las biomásas, geotérmicas, hidráulicas y aprovechar la energía del mar para de conjunto contribuir al saneamiento ambiental del planeta y satisfacer la demanda creciente del consumo de electricidad con plantas no agresivas al medio ambiente.
7. Es necesario establecer políticas de ahorro energético que contribuyan al aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles sin dañar el medio ambiente, para ello hay que formar especialistas capaces de diseñar, proyectar, montar o construir por un lado, y explotar y mantener por otro, de manera correcta, este tipo de plantas para poder potenciar su empleo eficiente.

8. Las barreras fundamentales para desarrollar las fuentes alternas están dadas por la insuficiente información sobre los recursos de energías renovables, los altos costos iniciales, la tendencia a privilegiar la extensión de la red eléctrica convencional sobre el aprovechamiento de energías renovables y la falta de un marco legal específico que dé seguridad a inversiones y que contribuya a que los proyectos obtengan financiamiento.

## REFERENCIAS

1. **Johnson, G. L.:** *Wind Energy Systems*, Prentice-Hall, New York, 1985.
2. **Johnson, G. L. ; S. Rahman and R. A. Messenger:** "Electric Power Generation: Non-Conventional Methods", *The Electric Power Engineering Handbook*, Ed. L. L. Grigsby, CRC Press LLC, 2001.
3. **Datos de la capacidad efectiva de generación del sector eléctrico nacional**, Secretaría de Energía, 2004.
4. **O. de Buen, R:** "Desarrollo de las energías renovables en México: La perspectiva de la CONAE", Diciembre de 2001.
5. Danish Wind Energy Association (<http://www.windpower.org>).
6. Wind Power / Wind Energy. (<http://en.wikipedia.org>).
7. **Archer, C. L. and M. Z. Jacobson:** *Evaluation of Global Wind Power*, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA, 2004.
8. *World Wind Energy Association*, Press Release, 7 de marzo de 2005.
9. Global Market Report 2004, American Wind Energy Association (AWEA). <http://www.awea.org/pubs/documents/globalmarket2004.pdf>, 2004.
10. Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2002*. <http://www.eia.doe.gov/emeu/international>.
11. **Elliott, D. et al. :** *Energy Resource Atlas of Oaxaca. National Renewable Energy Laboratory*, August, 2003.
12. Comisión Federal de Electricidad, CFE. (<http://www.cfe.gob.mx>).
13. *Mexican Economy Report WWP-Business Opportunities in Latin America and the Caribbean*, Endesa, Lloyd S. A. de C.V., April del 2002.
14. Reporte de Christopher Bjork en Dow Jones Newswires, Jueves 1 de septiembre de 2005.
15. Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE) (<http://www.conae.gob.mx>).
16. **Archer C. L. and M. Z. Jacobson:** *Evaluation of Global Wind Power" Department of Civil and Environmental Engineering*, Stanford University, Stanford, CA, 2004.

## AUTORES

### Alfredo G. M. Gámez López

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, Profesor Titular A., Laboratorio de Electrónica, Universidad Veracruzana, México  
e-mail:alfredogustavo2004@yahoo.com.mx

### Javier Cabrera Vázquez

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Electrónica y Control, Universidad Autónoma de Guadalajara, México.  
e-mail:jacabrer@cupei.udg.mx

### Francisco E. López Monteagudo

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de Las Villas Marta Abreu, Santa Clara, Cuba  
e-mail:eneldol@fie.uclv.edu.cu

### Manuel Reta Hernández

Ingeniera Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, México.  
e-mail:manuelretah@yahoo.com.mx

### Oscar Cruz Fonticiella

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara.  
e-mail:fonti\_cu@yahoo.com