

# **LAS ENERGÍAS RENOVABLES**

## **en México y el mundo**

### **Semblanza**

#### **1. Antecedentes**

Cuando en 1973 se produjeron eventos importantes en el mercado del petróleo en el mundo, que se manifestaron en los años posteriores en un encarecimiento notable de esta fuente de energía no renovable, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía. Resultado de esto, los países consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar costumbres y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables.

Entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo como principal energético, se reconsideró el mejor aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones secundarias tales como la energía eólica, hidráulica y las diversas formas de biomasa; es decir, las llamadas energías renovables.

Así, hacia mediados de los años setenta, múltiples centros de investigación en el mundo retomaron viejos estudios, organizaron grupos de trabajo e iniciaron la construcción y operación de prototipos de equipos y sistemas operados con energéticos renovables. Asimismo, se establecieron diversas empresas para aprovechar las oportunidades que se ofrecían para el desarrollo de estas tecnologías, dados los altos precios de las energías convencionales.

En la década de los ochenta, aparecen evidencias de un aumento en las concentraciones de gases que provocan el efecto de invernadero en la atmósfera terrestre, las cuales han sido atribuidas, en gran medida, a la quema de combustibles fósiles. Esto trajo como resultado una convocatoria mundial para buscar alternativas de reducción de las concentraciones actuales de estos gases, lo que llevó a un replanteamiento de la importancia que pueden tener las energías renovables para crear sistemas sustentables. Como resultado de esta convocatoria, muchos países, particularmente los más desarrollados, establecen compromisos para limitar y reducir emisiones de gases de efecto de invernadero renovando así su interés en aplicar políticas de promoción de las energías renovables.

Hoy en día, más de un cuarto de siglo después de la llamada *crisis del petróleo*, muchas de las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones. Como resultado, países como Estados Unidos, Alemania, España e Israel presentan un crecimiento muy acelerado en el número de instalaciones que aprovechan la energía solar de manera directa o indirectamente a través de sus manifestaciones secundarias.

Además de la riqueza en energéticos de origen fósil, México cuenta con un potencial muy importante en cuestión de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo permitirá al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, ampliar la base industrial en un área que puede tener valor estratégico en el futuro, y atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales.

Para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energías renovables, la Secretaría de Energía se ha apoyado en la Comisión para el Ahorro de Energía, Conae, creada como comisión intersecretarial en 1989 y elevada a la categoría de órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía en 1999, hoy día CONUEE. A su vez, reconociendo su invaluable participación en el tema, la Comisión estableció, desde hace más de tres años, una alianza con la Asociación Nacional de Energía Solar, ANES, y juntas han operado el Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables, Cofer.

#### **2. La energía solar y sus diversas manifestaciones como energía renovable**

La energía solar se manifiesta de diversas formas y su aplicación ha sido fundamental para el desarrollo de la humanidad. A estas formas se les conoce como energías renovables, ya que son formas de energía que se van renovando o rehaciendo con el tiempo o que son tan abundantes en la tierra, que perdurarán por cientos o miles de años, las usemos o no.

##### 2.1 Energía solar directa

La energía solar que recibe nuestro planeta es resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el interior del Sol. De toda la energía que produce ese proceso nuestro planeta recibe menos de una milmillonésima parte. Esa energía, que en ocho minutos recorre los más de 145 millones de kilómetros que separan al Sol de la Tierra resulta, sin embargo, una cantidad enorme en proporción al tamaño de nuestro planeta.

La energía solar se manifiesta en un espectro que se compone de radiación ultravioleta, visible e infrarroja. Al llegar a la Tierra, pierde primero su parte ultravioleta, que es absorbida por una capa de

ozono que se presenta en el límite superior de la atmósfera. Ya en la atmósfera, la parte infrarroja se pierde ya sea por dispersión al reflejarse en las partículas que en ella se presentan o al llegar a las nubes, que son capaces de reflejar hasta un 80% de la radiación solar que a ellas llega. El resto llega a la superficie, ya sea de manera directa o indirectamente como reflejo de las nubes y partículas en la atmósfera.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede transformar directamente en electricidad o calor. El calor, a su vez, puede ser utilizado directamente como calor o para producir vapor y generar electricidad.

#### *2.1.1 Sistemas fotovoltaicos*

Las celdas fotovoltaicas son placas fabricadas principalmente de silicio. Cuando al silicio se le añaden cantidades relativamente pequeñas de ciertos materiales con características muy particulares, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar: los electrones son excitados por los fotones asociados a la luz y se mueven a través del silicio produciendo una corriente eléctrica; este efecto es conocido como fotovoltaico. La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%, por lo que un metro cuadrado puede proveer 150 Watts, potencia suficiente para operar un televisor mediano.

Las celdas fotovoltaicas, para poder proveer de energía eléctrica en las noches, requieren de baterías donde se acumula la energía eléctrica generada durante el día, lo cual encarece su aplicación. Sin embargo, en la actualidad se están desarrollando sistemas fotovoltaicos conectados directamente a la red eléctrica, evitando así el uso de baterías, por lo que la energía que generan se usa de inmediato por el propio usuario que la genera, con la posibilidad de vender los excedentes de electricidad a las compañías generadoras.

#### *2.1.2 Sistemas solares térmicos*

Los sistemas solares térmicos pueden clasificarse en *planos* o de *concentración* o *enfoque*.

*Los sistemas solares planos*, o colectores solares planos, son dispositivos que se calientan al ser expuestos a la radiación solar y que transmiten el calor a un fluido. Con el colector solar plano se pueden calentar fluidos a temperaturas de hasta 200 ° C (para el caso de sistemas de tubos evacuados) pero, en general, se aprovecha para calentar hasta los 75 ° C.

*Los sistemas solares de concentración* son aquellos que funcionan concentrando la radiación solar directa en un área focal, pudiéndose ubicar ésta alrededor de un punto o a lo largo de una línea. Este conjunto de dispositivos requiere de procedimientos o mecanismos de seguimiento, ya que la línea de incidencia varía durante el día y durante el año. Estos sistemas pueden lograr temperaturas de varios centenares de grados centígrados y en casos especiales hasta los miles de grados.

### 2.2 Energía del viento o eólica

Los vientos ocurren por diferencias de presión generadas por un calentamiento no uniforme de la atmósfera terrestre, desplazándose grandes masas de aire de las zonas de alta presión a las de baja. Aproximadamente el 2% del calor del Sol que llega a la Tierra se convierte en viento, pero sólo una fracción muy pequeña puede ser aprovechada, ya que buena parte de estos vientos ocurre a grandes alturas o sobre los océanos, mar adentro. Además, se requieren condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos. Se considera que vientos con velocidades promedio entre 5.0 y 12.5 metros por segundo son los aprovechables.

El viento contiene energía cinética (de las masas de aire en movimiento) que puede convertirse en energía mecánica o eléctrica por medio de aeroturbinas, las cuales se componen por un arreglo de aspas, generador y torre, principalmente. Las aeroturbinas pueden ser clasificadas, por la posición de su eje, en horizontales y verticales.

De manera muy general, con un aerogenerador cuyas aspas tienen un diámetro de 40 metros y sujeto a vientos con velocidad promedio de 8 metros por segundo, se pueden tener 600 kW de capacidad, lo cual es suficiente para proveer de electricidad a un conjunto habitacional de 200 departamentos.

### 2.3 Hidráulica

La energía que llega del sol da lugar, entre otros fenómenos, a la evaporación del agua contenida sobre su superficie, principalmente en los océanos. Esta humedad se acumula en nubes que viajan largas distancias y se deposita en forma de lluvia sobre montañas, muchas alejadas del mar. El agua, acumulada en corrientes y por gravedad, busca de nuevo el mar, formando ríos. Este caudal, que se puede manifestar en grandes caídas o en muchas corrientes, es la fuente de la energía hidroeléctrica.

En muchos casos, esta energía se deposita en forma potencial en embalses y se transforma en energía aprovechable al desplazarse hacia niveles inferiores. El agua en movimiento empuja dispositivos giratorios que la convierten en energía mecánica, o para mover generadores de electricidad. Por ejemplo, para lograr una capacidad de 3,000 kW, que es la suficiente para satisfacer, por ejemplo,

1,000 departamentos, se requiere tener una caída de agua de 100 metros con un gasto de 3 metros cúbicos por segundo. Esto se logra ampliamente en cualquier zona montañosa del planeta con un régimen regular de lluvias.

#### 2.4 Biomasa

Las plantas acumulan energía a través de la fotosíntesis donde, alimentadas por la energía solar, separan las moléculas de bióxido de carbono, acumulando el carbono en forma de hidrocarburos y soltando el oxígeno. La eficiencia de conversión de energía solar en energía almacenada en forma de materia orgánica (a través de la fotosíntesis) es muy baja, estimándose su límite máximo en cerca de 3%, aunque algunas especies forestales en explotación comercial alcanzan eficiencias de conversión de hasta 1%.

##### 2.4.1 Leña

La forma más común de biocombustibles sólidos es la leña, que aún en la actualidad cubre casi 50% de las necesidades energéticas en los países en vías de desarrollo. El carbón vegetal es otra forma de biocombustible sólido, así como las *briquetas* y los lechos artificiales que se fabrican aglomerando y comprimiendo astillas y pajas. También los residuos de las cosechas de granos, trátense de tallos y pajas de trigo, arroz, maíz, etc., que se pueden aprovechar para hacer funcionar pequeñas centrales eléctricas.

Es aún tan importante el uso de la leña como energético, que existen plantaciones de árboles de rápido crecimiento, como el eucalipto, que se denominan plantaciones energéticas, cuyo propósito es producir madera para combustible.

Como referencia al potencial de la biomasa, un metro cúbico de leña es suficiente para permitir que 5 personas tengan suficiente calor para calentar agua para 108 baños de 15 minutos cada uno.

##### 2.4.2 Fermentación

Los procesos de fermentación de alcohol y su destilación son conocidos y empleados por las sociedades humanas desde la antigüedad para la producción de vinos y aguardientes. A través de este mismo proceso es posible obtener etanol, un alcohol que se emplea actualmente como combustible en la sustitución de la gasolina o mezclado con ella, y como insumo en la obtención de productos químicos (vitaminas, antibióticos, solventes y otros).

La caña de azúcar, el sorgo dulce, las frutas y la remolacha son los cultivos más fácilmente convertibles en etanol; los azúcares base de la fermentación se obtienen con pretratamientos suaves tales como prensado, corte o lavado de los cultivos. Los procesos de fermentación tienen una eficiencia de conversión muy alta, ligeramente superior al 85%.

El uso intensivo del etanol puede ser motivado por su habilidad para sustituir a la gasolina o utilizarlo como componente oxigenante de la gasolina y antidetonante principalmente de dos maneras.

1.- En vehículos de gasolina (90% gasolina y 10% etanol en volumen) gasoil, esto se practica sin ninguna modificación al motor.

2.- Etanol como sustituto de la gasolina. Una mezcla de 85 % etanol y 15% gasolina (E85) es un combustible viable para vehículos ligeros, éstos pueden operar con cualquier proporción de etanol mezclado con gasolina, teniendo como límite 85%. Algunos autobuses y camiones con la adecuada modificación a sus motores diesel, pueden operar con etanol casi puro.

##### 2.4.3 Biometanación

En el proceso de biometanación, desperdicios orgánicos o biomasa con alto contenido de humedad se alimentan a un recipiente llamado digestor biológico. Por la acción de microorganismos adecuados, la materia orgánica se transforma en biogás (una mezcla de bióxido de carbono y metano esencialmente), que puede aprovecharse como combustible, produciéndose además lodos residuales empleables como mejoradores de suelos o fertilizantes.

##### 2.4.4 Biogás de los rellenos sanitarios

El biogás también se produce en rellenos sanitarios, que contienen gran proporción de desechos orgánicos húmedos, y en donde existen las condiciones adecuadas para que proliferen las bacterias anaerobias que al digerir esos desechos producen el metano y el bióxido de carbono en el interior del relleno.

Por ejemplo, un relleno sanitario de la Ciudad de México con 5.6 millones de toneladas de residuos sólidos produce suficiente biogás para alimentar una planta de 5 MW de capacidad para operar durante 10 años.

### **3. Aprovechamiento de las energías renovables en el mundo**

El impulso dado al desarrollo de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables a partir de la década de los setenta, ha permitido que diversas tecnologías en fase experimental se conviertan en un producto capaz de competir en el mercado y ganar terreno a otras alternativas que operan con combustibles fósiles. A continuación repasaremos lo más significativo de los desarrollos que se tienen en la actualidad.

### 3.1 Calentadores solares planos

Los calentadores solares planos son una de las tecnologías solares más simples, más probadas y que tiene un gran potencial de aplicación en todo el mundo. Uno de los casos más relevantes es el de Israel, donde se usa la energía solar para calentamiento de agua desde hace más de 50 años y donde, a partir de 1980, la legislación hizo obligatoria la instalación de sistemas solares para calentamiento de agua en todas las construcciones residenciales nuevas.

Hoy en día, la tecnología solar térmica experimenta un fuerte crecimiento en Europa. Desde 1993, se tiene un crecimiento de 14.8% anual en el área instalada de colectores solares planos. Tres países, Alemania, Grecia y Austria, se destacan de los demás. En 1998, estos países instalaron más de 150,000 m<sup>2</sup> de colectores solares. Alemania es el líder, ya que instaló en el año mencionado 470,000 m<sup>2</sup>, en más de 50,000 instalaciones colectivas e individuales para calentamiento de agua. En términos relativos, es decir, número de colectores solares por cada mil habitantes, Grecia y Austria superan a Alemania.

En 1999, en México se instalaron 35,000 m<sup>2</sup> de colectores solares, principalmente para el calentamiento de albercas, registrándose un ligero incremento de 8% respecto a 1998 y de 40% respecto a 1997.

**Tabla 1**  
**Áreas instaladas de colectores solares planos para algunos países (1998)**

<b>País</b>	<b>Área de colectores solares instalados en 1998 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área de colectores solares instalados por cada 1,000 habitantes (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Alemania</b>	470,000	35
Austria	195,000	240
Grecia	153,900	260
Francia	28,000	14
Holanda	26,640	15
España	19,440	11
Italia	18,000	5
Dinamarca	17,000	60
Portugal	8,000	25
México	32,400	0.33

Fuente: EurObservÉR; para México, Balance Nacional de Energía (1998). ANES para datos sobre México

### 3.2 Sistemas de concentración de radiación solar

La generación fototérmica de electricidad, a través de sistemas que concentran la energía solar en una línea, es actualmente una de las aplicaciones más extensas de la energía solar en el mundo, ya que se tienen 354 MW instalados en sistemas que utilizan más de 2.5 millones de m<sup>2</sup> de concentradores solares en 9 plantas del Solar Energy Generation System, SEGS, el cual es un producto de la compañía Luz de Israel.

### 3.3 Fotovoltaica

La tecnología relacionada con la generación de electricidad por procesos fotovoltaicos ha tenido grandes avances. Su costo unitario de potencia se ha reducido más de 20 veces desde 1973, al pasar de 200 a 10 dólares por watt. Esto ha permitido que el uso de esta tecnología se haya generalizado y que se tengan expectativas de mayores reducciones en su precio, lo que la coloca en el umbral de

aplicaciones masivas.

En 1999, la producción de celdas fotovoltaicas a escala mundial prácticamente alcanzó la marca de los 200 MW por año, lo que representó un crecimiento de 29% con respecto a 1998.

También en 1999, la capacidad instalada acumulada en la Comunidad Europea excedió los 123 MW.

Actualmente, e impulsado por un mercado nacional dinámico, Japón supera a los Estados Unidos como líder productor de celdas fotovoltaicas con 80 MW por año.

**Tabla 2**  
**Capacidad eléctrica instalada en celdas fotovoltaicas (en MW) para países varios**

<b>PAIS</b>	<b>Capacidad instalada en el final de 1998</b>	<b>Capacidad instalada en el final de 1999 *</b>
Alemania	53.9	66.2
Italia	17.68	18.5
Francia	8.0	10.0
Holanda	6.48	9.5
España	8.0	9.0
Austria	2.86	3.46
Resto de la CEU	6.54	7.42
Total CEU	103.46	123.58
EEUU	127.9	147.0
Japón	133.3	190.0
México	12.0	12.9 **

( \* )Estimado

Fuente: EuroObserv´ER y ANES (para datos sobre México)

### 3.4 Eólica

A partir de las leyes establecidas para promover alternativas al petróleo en los Estados Unidos como resultado de la crisis de 1973, en el estado de California se presentó un fenómeno particular y extraordinario que fue la aparición de las *granjas eólicas*, grandes arreglos de pequeñas unidades de generación que, agregadas, representan capacidades comparables a las de grandes plantas convencionales. Bajo este esquema, para 1994 California tenía más de 15, 000 turbinas eólicas instaladas que generaban la energía equivalente a la consumida por todos los habitantes de la ciudad de San Francisco en un año.

La experiencia positiva de California desencadenó una ola de desarrollo que llevó a otros estados de la Unión Americana y a otros países a aprovechar las oportunidades de esta tecnología. Actualmente existen varios proyectos en construcción en los estados de Colorado, Iowa, Minnesota, Nebraska, Kansas, New Mexico, Oregon, Texas, Wisconsin y Wyoming. Todo indica que estos desarrollos elevarán la capacidad eólica de los EU en 50%, lo suficiente para potenciar más de medio millón de hogares americanos. A comienzos del año 2001 se tenían instalados cerca de 2,800 MW eólicos en Estados Unidos.

Asimismo, al iniciar el presente año se contaba con alrededor de 18,500 MW eólicos en todo el mundo. Con un crecimiento de 38% a escala mundial (4,500 MW), 2000 fue un año excelente para la energía eólica. Con esto, la capacidad de generación de electricidad a partir de viento ha crecido a una tasa anual promedio de 30% en los últimos tres años. Por su parte, la Unión Europea ha cuenta con un acumulado de cerca de los 12,822 MW, donde Alemania se consolida como primer lugar con 6,113 MW.

En Europa resalta el dinamismo que presenta la península ibérica, donde el mercado de las energías renovables se ha colocado entre los más importantes de Europa, justo detrás de Alemania y

Dinamarca. Esto ha ocurrido, en buena medida, como resultado de una agresiva estrategia gubernamental de fomento de alternativas al petróleo y ha resultado en un crecimiento exponencial, duplicándose la capacidad instalada cada año. De esta manera, de una potencia eólica instalada en 1996 de 216 MW, se alcanzó una capacidad acumulada de 2,900 MW para 2001. Resalta, en particular, la provincia española de Navarra, la cual posee la industria eólica de más rápido crecimiento en el mundo ya que, partiendo de cero capacidad de este tipo, pasó a obtener 23% de su electricidad del viento en menos de tres años.

Todo lo anterior ha causado disminuciones significativas en el costo de la tecnología y de la energía generada por este medio. Ejemplo de esto es la reducción de costos de 50% entre 1992-97. Actualmente los costos promedio de la energía eléctrica generada a partir del viento se ubican entre 4 y 8 centavos de dólar por kWh generado, los cuales ya están muy cerca de los 2.5 centavos de dólar por kWh que actualmente cuesta la generación convencional mediante tecnología de punta.

### 3.5 Minihidráulica

La hidroenergía es quizás la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas de la humanidad. Las ruedas hidráulicas se utilizaron desde el tiempo de los antiguos romanos para actividades como la molienda de granos, los aserraderos o simplemente como fuerza mecánica.

A principio del siglo XX proliferaron en Europa, las centrales hidroeléctricas *pequeñas* con capacidades instaladas de varias decenas o centenas de kilowatts. Después de la segunda guerra mundial se dio un gran auge al desarrollo de la hidroelectricidad de gran capacidad, con centrales en el orden de los cientos de megawatts. La construcción de minicentrales se siguió dando principalmente en varios países de Europa y en algunos de Asia.

A la fecha, existen en todo el mundo cerca de 35,500 MW de potencia global instalada en pequeñas centrales. Para principios del siglo XXI se espera contar con alrededor de 38,700 MW. De estos totales, China cuenta con la mayor capacidad instalada del mundo con alrededor de 14,300 MW, lo cual representa aproximadamente 43% del total, para la capacidad actual y la que se encuentra en construcción y planeada. A éste le siguen Japón y Estados Unidos con 3,381 y 3,019 MW instalados respectivamente. De los países latinoamericanos Brasil se encuentra a la cabeza con alrededor de 950 MW, lo cual lo coloca en octavo lugar mundial en aprovechamiento de pequeños saltos hidráulicos.

**Tabla 3.**  
**Estado del desarrollo de centrales hidráulicas con capacidad menor a 10MW**  
**(Finales de 1996)**

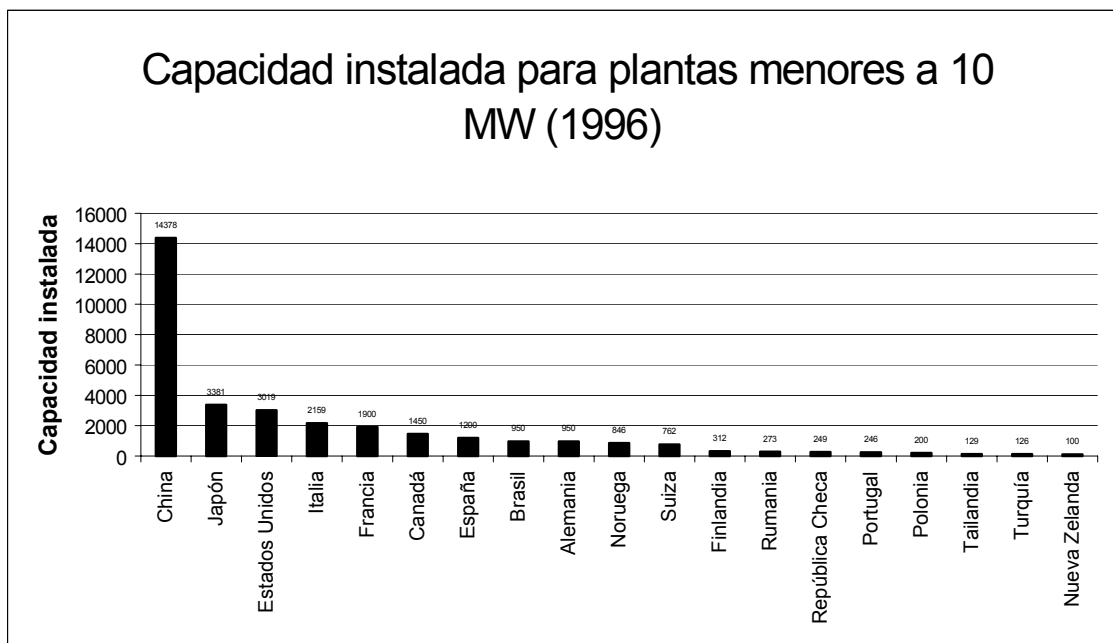
	Capacidad económicamente explotable GWh/yr	En operación		En construcción y planeada	
		Capacidad MW	Generación actual en 1996 GWh	Capacidad MW	Generación probable anual GWh
<b>Africa</b>					
Argelia	-	54	33	-	
Egipto	79	5	43	5	36
Etiopía	26000	18	155	-	-
Marruecos	-	42	82	6	34
Sudáfrica	-	3	-	-	-
<b>Norteamérica</b>					
Canadá	10749	1450	7748	100	570
Jamaica	66	24	100	-	-
Estados Unidos	-	3019	12376	40	134

<b>Sudamérica</b>					
Brasil	24448	950	4660	686	3407
Paraguay	1	-	-	-	-
<b>Asia</b>					
China	-	14378	44790	2500	8250
Indonesia	674	63	347	58	511
Japón	-	3381	-	148	601
República Corea	2900	-	-	-	-
Nepal	-	10	26	-	-
Filipinas	7915	79	239	8	44
Taiwan, China	590	62	345	-	-
Tailandia	-	129	253	72	349
Turquía	2918	126	268	523	2517
<b>Europa</b>					
Albania	369	14	16	4	16
Bélgica	-	65	149	-	-
Croacia	-	15	76	-	-
República Checa	-	249	691	-	-
Dinamarca	-	10	16	-	-
Finlandia	-	312	952	-	-
Francia	7800	1900	7600	-	-
Alemania	-	950	4594	9	-
Hungría	-	32	104	-	-
Islandia	-	43	231	-	-
Irlanda	-	29	85	14	70
Italia	-	2159	8855	350	1100
Letonia	15	2	3	-	-
Luxemburgo	100	21	55	-	-
Países Bajos	-	N	-	-	-
Noruega	13000	846	-	22	94
Polonia	-	200	115	-	-
Portugal	-	246	492	-	-

Rumania	250	273	205	343	250
Rusia	26000	88	448	165	-
Eslovaquia	-	60	53	-	-
Eslovenia	1115	80	265	40	200
España	-	1200	4200	130	370
Suiza	-	762	3304	7	26
Ucrania	-	77	238	-	-
<b>Medio Oriente</b>					
Irán	-	12	15	-	-
Israel	-	8	9	-	-
Jordania	87	7	22	-	-
<b>Oceanía</b>					
Nueva Zelanda	-	100	508	-	-

Fuente: World Energy Council, Member Committees, 1997

**Tabla 4**



Fuente: World Energy Council, Member Committees, 1997

### 3.6 Biomasa

Con un estimado de 14,000 MW de capacidad instalada alrededor del mundo, la biomasa es la mayor fuente de potencia para generación de energía eléctrica con energías renovables, después de la hidroeléctrica. Estados Unidos es el más grande generador de potencia con biomasa con 7,000 MW instalados. Las expectativas de crecimiento de la generación con biomasa alrededor del mundo son de más de 30,000 MW para el año 2020. China y la India son considerados candidatos para instalar sistemas con biomasa de manera masiva. Las estimaciones muestran que para el 2015 China deberá tener entre 3,500 y 4,100 MW instalados, y la India entre 1,400 y 1,700 MW. Esto representa un crecimiento acelerado de sus niveles actuales de capacidad instalada de 154 y 59 MW

respectivamente. Otros países que muestran un promisorio crecimiento por la variedad de sus sistemas de biomasa son Brasil, Malasia, Filipinas, Indonesia, Australia, Canadá, Inglaterra, Alemania y Francia.

Es indudablemente Europa quien ha asumido con mayor responsabilidad el proceso de transición a un sistema energético sustentable, siendo Alemania, Dinamarca y España quienes más se han destacado en estos esfuerzos. El caso de Dinamarca merece ser ejemplificado. Actualmente cubre 7% de su oferta energética con energías renovables, 5% corresponde a biomasa y para el año 2020 planea cubrir 20% con renovables.

#### **4. Potencial y aprovechamiento de las energías renovables en México**

En general, dada la dispersión y la baja densidad energética de las fuentes renovables de energía, se requiere de grandes extensiones de tierra para lograr un nivel de aprovechamiento similar al de los sistemas que operan con combustibles fósiles. Igualmente, los sistemas de aprovechamiento de energías renovables tienen que ubicarse en el lugar donde se dispone del recurso, lo que muchas veces ocurre lejos de donde está la necesidad. Estas circunstancias, sin embargo, no han sido un impedimento para su desarrollo, como lo demuestran los proyectos en operación en el país.

De una manera muy general se puede afirmar que la República Mexicana recibe, en seis horas de exposición al Sol, la misma cantidad de energía que consumirá durante todo un año. Esta energía se transforma en calor, viento, agua evaporada y en diversas formas de biomasa y solo una fracción pequeña es aprovechable para el uso que los humanos le damos a la energía.

En México, existen actividades tendientes al aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones desde hace varias décadas, aunque es particularmente significativo el avance e interés de instituciones e industrias en las últimas tres, periodo en el que se han desarrollado investigaciones y diversos proyectos, prototipos, equipos y sistemas para el mejor aprovechamiento de las energías renovables.

De manera general, resalta la investigación y desarrollo en energías renovables que arranca en la mitad de la década de los setentas y que continúa hasta la fecha. En este sentido, son importantes las actividades de universidades e institutos, nacionales y regionales, a lo largo y ancho del país. Igualmente importante ha sido el trabajo de difusión y promoción de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la cual ha unificado a esta comunidad, particularmente a través de sus semanas y reuniones nacionales celebradas anualmente desde 1977.

Por otro lado, son importantes los trabajos para la manufactura y comercialización de equipos y sistemas relacionados con las energías renovables, en donde resalta la gran cantidad de fabricantes de calentadores solares planos en el territorio nacional.

Finalmente, para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energías renovables, la Secretaría de Energía se ha apoyado en la Comisión, quien a su vez, estableció, desde hace más de tres años, una alianza con la ANES, y juntas han operado el Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables, Cofer, al cual concurren reconocidos especialistas de los sectores público y privado y en cuyo contexto se han organizado media docena de foros públicos sobre asuntos relacionados con la promoción de las energías renovables.

##### 4.1 Energía solar

El conocimiento general que se tiene de la energía solar en nuestro país indica que más de la mitad del territorio nacional presenta una densidad en promedio energética de 5 kWh por metro cuadrado al día. Esto significa que para un dispositivo de colección y transformación de energía solar a energía eléctrica que tuviera una eficiencia de 100%, bastaría un metro cuadrado para proporcionar energía eléctrica a un hogar mexicano promedio que consume 150 kWh por mes. De manera más precisa, considerando eficiencias de 10% para los dispositivos en el mercado, se puede decir que con 200 millones de m<sup>2</sup> de área de colección de radiación solar (un área de 14.2 Km por lado) podríamos dar electricidad a todos los hogares mexicanos.

Esto no significa, sin embargo, que la energía solar directa sea la más económica para el universo de usuarios de energía en el país, ya que su costo actual sólo lo justifica para un número limitado de usuarios, particularmente los que viven alejados de la red eléctrica.

##### *4.1.1 Calentamiento solar*

En México se fabrican calentadores solares planos desde hace más de cincuenta años y en la actualidad existen cerca de 50 fabricantes registrados de estos equipos. Igualmente, la investigación sobre este tema es amplia y existe un gran número de ingenieros y técnicos que pueden diseñar este tipo de sistemas. Esto se ha reflejado en el crecimiento de la producción de calentadores solares planos desde 1997, habiéndose logrado para 1999, 35,000 m<sup>2</sup> instalados. De esta manera, en 1999, se contaba en el país con 328,000 m<sup>2</sup> de este tipo de sistemas, la mayoría de ellos instalados en la Ciudad de México, Guadalajara, Cuernavaca y Morelia.

#### 4.1.2 Sistemas térmicos de concentración solar

En México existen instalaciones de este tipo de colectores, resaltando la que se construyó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM a principios de los ochenta en la Ciudad de México, y que ha sido la base para investigaciones posteriores en nuestro país. Actualmente, esta tecnología se desarrolla en México en cuando menos dos centros de investigación aplicada y en una universidad: el Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE; el Centro de Investigaciones en Energía, CIE, de la UNAM y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.

#### 4.1.3 Fotovoltaicos

En el contexto nacional, los pioneros en el desarrollo de tecnología de generación de electricidad, a partir de celdas fotovoltaicas, fueron investigadores del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), quienes desarrollaron una pequeña planta piloto con una capacidad de producción de fotoceldas que permitió, en los años setenta, proveer de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de telesecundarias.

A través de un esfuerzo del gobierno federal dentro del Programa Solidaridad, y mediante la participación de instituciones como Comisión Federal de Electricidad (CFE), y los Gobiernos estatales y municipales, entre otros, se instalaron en México alrededor de 40,000 sistemas fotovoltaicos, y otros diez mil por la iniciativa privada, para proveer de electricidad a zonas alejadas de la red eléctrica. Esto ha permitido que miles de pequeños poblados cuenten con iluminación eléctrica durante las noches y, en algunos casos, con electricidad para bombeo de agua. Igualmente, el uso de estos sistemas se ha generalizado para la comunicación en sistemas de auxilio e iluminación en carreteras federales, para dar energía a estaciones del sistema de comunicación por microondas y a la telefonía rural.

Asimismo, en México se aplican ampliamente los sistemas fotovoltaicos en sistemas de comunicación telefónica rural. La capacidad instalada en sistemas fotovoltaicos en México, según datos de la ANES, fue de 0.9 MW para el año de 1999, con lo que el acumulado, hasta ese mismo año, es de 12.92 MW.

#### 4.2 Energía eólica

Se estima que el potencial eólico técnicamente aprovechable de México alcanza los 5,000 MW, lo que equivale a 14% de la capacidad total de generación eléctrica instalada actualmente. Este potencial tiene ahora mayores posibilidades de desarrollarse, por la disminución de sus costos que han llegado a ser casi competitivos con las energías convencionales y por las modificaciones a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. En este sentido, resaltan los potenciales identificados en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, en la parte correspondiente a la costa del Pacífico. Se han identificado también sitios en los estados de Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Hidalgo, Quintana Roo y Zacatecas.

En nuestro país existe desarrollo tecnológico importante en relación con la generación de electricidad a partir del viento. En particular, resalta el trabajo del Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE, con más de 20 años de experiencia en el tema. En el sector privado, destaca la capacidad de diseño y manufactura nacionales de este tipo de equipos desarrollados por una empresa que los exporta ensamblados en el Distrito Federal.

Por su parte, la Comisión Federal de Electricidad, CFE, a partir del conocimiento y de la experiencia desarrolladas en el IIE construyó y opera dos plantas eólicas piloto, con el objetivo de adentrarse en esta tecnología, reconocer sus ventajas y limitaciones, y validar su integración al Sistema Eléctrico Nacional. En agosto de 1994, la CFE puso en operación una central eólica de 1.5 MW de capacidad en La Venta, Oaxaca. En diciembre de 1998, entró en operación la central eólica Guerrero Negro que se ubica en la península de Baja California Sur y tiene una capacidad de 600 kW.

Asimismo, en algunos estados de la República tales como Chihuahua y Sonora, se utilizan sistemas eólicos para bombeo de agua denominados *aerobombas*, muy útiles en localidades rurales aisladas de la red de suministro, o cuyas condiciones geográficas impiden la electrificación convencional.

Finalmente, y desarrolladas con capital privado, se tienen 5 permisos de la Comisión Reguladora de Energía, CRE, para instalar 148 MW a partir de energía eólica.

#### 4.3 Minihidráulica

En 1999, la energía hidráulica aportaba 14.4 % de la generación de electricidad en nuestro país. El potencial nacional minihidráulico, es decir, de pequeñas centrales hidroeléctricas de menos de 5 MW es, de acuerdo con estudios realizados por la Conuee y la CFE, de alrededor 3,000 MW. Tan sólo para una importante región montañosa de México, comprendida entre los estados de Veracruz y Puebla, se han identificando 100 sitios de aprovechamiento que alcanzarían una generación de 3,570 GWh anuales, equivalentes a una capacidad media de 400 MW. Es importante señalar que las condiciones del entorno a esta tecnología han cambiado, permitiendo que su aplicación sea una alternativa viable en muchos casos. Los cambios en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento así como el incremento en los costos de los energéticos convencionales y la demanda creciente de energía

eléctrica así lo indican.

Actualmente, en México existen minicentrales en operación en la CFE, Luz y Fuerza del Centro, LFC, y en los sistemas independientes de particulares.

**Tabla 5**  
**Resumen de centrales en operación en México**

Institución o empresa	Número de centrales	Número de unidades	Potencia instalada (MW)	(%)	Generación media (GWh)	(%)
CFE	13	30	21.7	28.4	70.3	32
LyFC	9	14	11	14.4	32	14.4
Independientes	61	77	43.5	57	118	53.5
<b>TOTAL</b>	<b>83</b>	<b>121</b>	<b>76.3</b>	<b>100</b>	<b>220.2</b>	<b>100</b>

Fuente: *Estudio de la situación actual de la minihidráulica nacional y potencial en una región de los estados de Veracruz y Puebla, 1997*

Las cifras anteriores nos indican que en México la producción minihidroeléctrica es mayoritariamente privada y que lo ha sido desde principio de siglo. Este es un factor en favor de la futura constitución de nuevas empresas particulares que decidan dedicarse al autoabastecimiento de energía eléctrica por este medio.

De las minicentrales fuera de servicio, sólo se conocen con certeza los datos de la CFE. Se sabe de 36 centrales que han dejado de operar debido, principalmente, a sus altos costos operativos y la obsolescencia de su equipo principal. Su potencia conjunta asciende a 36.78 MW, con una generación estimada en 125.65 GWh.

**Tabla 6**  
**Resumen de posibilidades de la energía minihidráulica en México**

Concepto	Potencia (MW)	Generación media anual (GWh)	Comentario
Centrales fuera de servicio	36.78	125.65	Capacidad instalada
Proyectos de rehabilitación (con estudio)	8.50	37.67	Incremento de potencia y generación
Proyectos de rehabilitación (por estudiar)	21.40	63.00	Capacidad instalada
Proyectos para equipamiento CNA	91.60	323.20	Capacidad instalada
<b>TOTALES</b>	<b>158.28</b>	<b>549.52</b>	

Fuente: *Estudio de la situación actual de la minihidráulica nacional y potencial en una región de los estados de Veracruz y Puebla, Conuee, 1997*

Finalmente, se tienen 12 permisos de la CRE para instalar 184 MW en plantas minihidráulicas.

#### 4.4 Biomasa

En México, sin que exista una evaluación precisa del universo de posibilidades de este tipo de recurso, existe un amplio potencial de aprovechamiento de las diversas formas de biomasa. Las comunidades rurales aisladas del país, satisfacen la mayor parte de sus necesidades energéticas con biomasa. Se estima que la leña provee cerca del 75% de la energía de los hogares rurales. En el sector agroindustrial, específicamente la industria de la caña de azúcar, se ha establecido un potencial de generación de electricidad, a partir del bagazo de caña, superior a 3,000 GWh al año.

Actualmente, se tienen 12 permisos de la CRE para instalar 135MW en plantas de generación eléctrica a partir de biomasa.

### **5. Aplicaciones específicas de las energías renovables**

Ya sea como energía térmica, mecánica o eléctrica, las energías renovables pueden ser útiles para

muchos propósitos. A continuación, se enumeran las aplicaciones de las energías renovables técnica y económicamente posibles en la actualidad, por tipo de usuario:

#### *Hogares*

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas y generador eólico)
- Calentar agua para los baños y la cocina (colectores solares planos)
- Calentar el agua de una alberca (colectores solares planos)
- Calentar el aire para los espacios interiores en tiempos de frío (colectores solares)
- Cocción de alimentos (biomasa y estufas solares)
- Acondicionamiento de aire (fotoceldas y enfriadores solares)

#### *Industria*

- Generar electricidad para usos múltiples (minihidráulica, eólica, fotoceldas)
- Precalentamiento de agua y de otros fluidos (colectores solares planos y de concentración)
- Procesamiento de alimentos (colectores solares planos y de concentración)

#### *Comercios y servicios*

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas y generadores eólicos)
- Alimentar pequeños refrigeradores para conservación de medicinas en hospitales rurales (fotoceldas)

#### *Municipios*

- Generar electricidad para usos múltiples (minihidráulica, eólica, fotoceldas biomasa)
- Destilación de agua en regiones aisladas junto al mar (destiladores solares)

#### *Comunicaciones y transporte*

- Señalización de carreteras (fotoceldas)
- Aplicaciones de señalización con boyas en el mar (fotoceldas)
- Sistemas de telecomunicación, tales como: estaciones repetidoras, microondas, telefonía aislada, sistemas de redes, sistemas portátiles de comunicación, etc. (fotoceldas)
- Utilización de biocombustibles a base de alcohol para el transporte (biomasa)
- Utilización de pequeños vehículos solares o híbridos (fotoceldas)

#### *Agricultura, ganadería y pesca*

- Bombeo de agua para riego (eólica, fotoceldas)
- Secado de granos, hierbas, pescado y, en general, productos perecederos (calentadores solares)
- Sistemas de desalinización y purificación de agua (calentadores solares)
- Precalentamiento de agua y otros fluidos (calentadores solares)
- Refrigeración solar para enfriamiento y producción de hielo (refrigeración solar)

### **Consideraciones finales**

El acelerado avance reciente de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables, su consiguiente abaratamiento y la necesidad de cuidar el ambiente han ubicado a las energías renovables como alternativas a ser consideradas en los planes energéticos y ambientales, presentes y futuros, de cualquier país en el mundo.

Ya sea para proveer a regiones marginadas el acceso a servicios de energía, para surtir la energía necesaria para servicios municipales, y/o para ser parte integral de los sistemas que los proveen en centros urbanos, las energías renovables deben ser integradas a los portafolios de quienes toman las decisiones a nivel nacional, regional, empresarial y hasta doméstico.

Para que esto ocurra en nuestro país es necesario impulsar el desarrollo tecnológico nacional, adecuar y adoptar los avances tecnológicos internacionales en la materia, y promover la incorporación de éstos en el desarrollo futuro de los sistemas energéticos nacionales. Esto implica, entre otras cosas, establecer especificaciones técnicas que aseguren la calidad y rendimiento de dichos sistemas, contar con personal capacitado para el diseño, instalación y mantenimiento de los mismos, y promover empresas con capacidad de servicio en todo el territorio nacional. De esta manera la tecnología local avanzará y podrá competir internacionalmente.

La sociedad y el gobierno mexicanos tienen gran interés en el aprovechamiento de las energías renovables. Esto genera un ambiente favorable para analizar y establecer las bases institucionales y estructurales para su promoción como formas de energía que contribuyan a satisfacer la creciente demanda de energéticos y ayude al establecimiento futuro de esquemas basados en la energía sustentable. El FORO SOLAR ISES MILENIO 2000 avanza en este sentido y representa un punto de partida de México hacia los escenarios energéticos del nuevo milenio.

### Las energías renovables en datos y cifras

#### Solar

Porcentaje de crecimiento mundial en la producción de celdas fotovoltaicas en 1999	29%
Reducción en dólares del costo por watt instalado en sistemas fotovoltaicos entre 1973 y 2000	De 200 a 10
Watts que puede generar una celda fotovoltaica de un metro cuadrado	150
<b><u>m<sup>2</sup> instalados de sistemas termosolares en el país en 1999</u></b>	<b><u>328,000</u></b>
Porcentaje del crecimiento mundial anual de colectores solares planos para calentamiento de agua con energía solar desde 1993	14.8%
m <sup>2</sup> de colectores solares instalados en Alemania en 1998	470,00
m <sup>2</sup> de colectores solares instalados en México en 1998	32,400

#### Eólica

Porcentaje de crecimiento mundial de la capacidad de generación eólica en los últimos tres años	30%
<b><u>Capacidad mundial acumulada en generación eólica al año 2001</u></b>	<b><u>18,449 MW</u></b>
Porcentaje de reducción de los costos de la tecnología para el aprovechamiento eólico entre 1992 y 1997	50%
<b><u>Capacidad de generación eólica en Estados Unidos en 2001</u></b>	<b><u>2,800 MW</u></b>
Cantidad de turbinas eólicas instaladas en California en 1994	15 000
<b><u>Capacidad de generación eólica en España en 2001</u></b>	<b><u>2,900 MW</u></b>
Aportación de la energía eólica en la producción de electricidad en Navarra, España	23%
Aportación de la energía eólica en la producción de electricidad en México	2%
Potencial eoloeléctrico técnicamente	5,000 MW (equivalente a 14% de la capacidad total de generación eléctrica)

aprovechable en México	instalada actualmente)
------------------------	------------------------

### **Minihidroeléctrica**

Potencia mundial instalada en centrales hidroeléctricas en 2000	35,500 MW
Capacidad minihidroeléctrica de China	14,300 MW
Capacidad minihidroeléctrica de Japón	3,381 MW
Capacidad minihidroeléctrica de Estados Unidos	3,019 MW
Capacidad minihidroeléctrica de Brasil	950 MW
Capacidad de generación de una caída de agua de 100 metros con un gasto de 3 metros cúbicos por segundo	3,000 kW (capacidad suficiente para electrificar 1,000 departamentos)

### **Biomasa**

Expectativa de crecimiento mundial de la generación con biomasa para el año 2020.	30,000 MW
---	-----------