

Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México



**GOBIERNO
FEDERAL**

SENER

gtz

2009



Vivir Mejor



Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009

La Secretaría de Energía (SENER) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (Cooperación Técnica Alemana) por la colaboración y asistencia técnica para la realización de la actualización de esta publicación. La colaboración de la GTZ se realizó en el marco de la cooperación técnica entre México y Alemania, a través del Programa Energía Sustentable en México, y por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

gtz



Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor y no necesariamente representan la opinión de la SENER, BMZ y/o de la GTZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

Editores: Julio Alberto Valle Pereña, André Eckermann, Valentina Barzalobre

Autor: Claudio Alatorre Frenk

Diseño: SENER

Fotografías: Véase créditos de ilustraciones

Impreso en México

Imprenta: Forever Print S.A. de C.V.

Tiraje (Edición Septiembre 2009): versión en español 1000 ejemplares

© Secretaría de Energía (SENER)

Insurgentes Sur 890

Col. Del Valle

C.P. 03100 México, D.F.

E-mail: jvalle@energia.gob.mx

Tel. +52-55-5000 6000

www.energia.gob.mx

© Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Cooperación Técnica Alemana

Dag-Hammerskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn/Alemania

www.gtz.de

Dirección en México:

Oficina de la GTZ en México

Insurgentes Sur 826

Col. Del Valle

C.P. 03100, México, D.F.

Tel. +52-55-5000 6000 ext. 1088

Fax. +52-55-5000 6000 ext. 2160

E-mail: andre.eckermann@gtz.de

www.gtz.de/mexico

México, D.F., Septiembre del 2009

ÍNDICE

Prólogo

1 Introducción

1.1 La definición de energías renovables	11
1.2 Perspectiva histórica	12
1.3 El caso de México	14
	15

2 Las tecnologías

2.1 Energía eólica	17
2.1.1 Tecnologías	17
2.1.2 Costos	18
2.1.3 Estado actual	18
2.1.4 Potencial	20
2.2 Radiación solar para generación de electricidad	21
2.2.1 Tecnologías	21
2.2.2 Costos	22
2.2.3 Estado actual	23
2.2.4 Potencial	24
2.3 Radiación solar para aplicaciones térmicas	25
2.3.1 Tecnología	25
2.3.2 Costos	26
2.3.3 Estado actual	27
2.3.4 Potencial	27
2.4 Energía hidráulica	29
2.4.1 Tecnología	29
2.4.2 Costos	30
2.4.3 Estado actual	30
2.4.4 Potencial	30
2.5 Bioenergía	31
2.5.1 Tecnología	31
2.5.2 Costos	33
2.5.3 Estado actual	34
2.5.4 Potencial	35
2.6 Geotermia	35
2.6.1 Tecnología	35
2.6.2 Costos	36
2.6.3 Estado actual	37
2.6.4 Potencial	37

3 Beneficios y particularidades	38
3.1 Los beneficios de las energías renovables	38
3.1.1 Beneficios económicos	38
3.1.2 Beneficios sociales: Desarrollo rural e industrial	41
3.1.3 Beneficios ambientales globales y locales	42
3.2 Las particularidades de las energías renovables	43
3.2.1 Dispersión territorial y pequeña escala	43
3.2.2 Variabilidad en el tiempo	43
3.2.3 Mayor inversión inicial	44
4 Estrategias de fomento y promoción	47
4.1 Las políticas para las energías renovables en el Mundo	47
4.1.1 El triple objetivo de las políticas	47
4.1.2 Las características de las políticas	47
4.2 Marco legal, regulatorio y normativo en México	48
4.2.1 Constitución	48
4.2.2 Tratados internacionales	49
4.2.3 La Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y su reglamento	49
4.2.4 La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos	50
4.2.5 La Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE)	50
4.2.6 Instrumentos regulatorios para el sector eléctrico	51
4.2.7 Normas y especificaciones técnicas	52
4.2.8 Gestiones para la realización de proyectos	53
4.3 Instrumentos de política pública	53
4.3.1 El Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Sectorial de Energía	54
4.3.2 Instrumentos económicos y financieros	55
4.3.3 Instrumentos de apoyo a la investigación y desarrollo tecnológico	55
4.3.4 Programas de cooperación internacional	56
4.3.5 Resumen de políticas, programas y proyectos	57
4.4 Escenarios a futuro	58
5 Conclusiones	59
Anexo: Directorio	60
Bibliografía	65
Créditos de fotografías	70

Lista de cuadros

Cuadro 1. Clasificación de las energías renovables	13
Cuadro 2. Desarrollo de las energías renovables en el mundo	14
Cuadro 3. Estado actual, potencial y costos de energías renovables y no renovables	45

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Evolución de la participación de fuentes de energía en la generación de electricidad en México, 1933-2017	16
Ilustración 2. Central eoloeléctrica de La Venta II	17
Ilustración 3. Parque eólico	18
Ilustración 4. Fragmento del mapa eólico del estado de Oaxaca	20
Ilustración 5. Central solar de canal parabólico Kramer Junction, California	22
Ilustración 6. Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica	24
Ilustración 7. Calentadores solares de agua	26
Ilustración 8. Pequeña central hidroeléctrica de Las Trojes (8 MW)	29
Ilustración 9. Estufa mejorada de leña "Onil", Zinacantán, Chiapas	32
Ilustración 10. Planta Geotérmica: Los Azufres, Michoacán	36
Ilustración 11. Escenario de evolución de la producción mundial de hidrocarburos	40
Ilustración 12. Aplicación de calentadores solares de agua en desarrollo residencia	40

Lista de abreviaturas

ANES	Asociación Nacional de Energía Solar
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BM	Banco Mundial
CDI	Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
CERTE	Centro Regional de Tecnología Eólica
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CMR	Comisión Mundial de Represas
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAE	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (ahora CONUEE)
CONOCER	Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencia Laborales
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DAC	Doméstica de alto consumo (tarifa eléctrica)
ENACC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
GEF	<i>Global Environment Facility</i> (Fondo para el Medio Ambiente Mundial)
GTZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH</i> (cooperación técnica alemana)
GVEP	<i>Global Village Energy Partnership</i> (Alianza Global de Energía Comunitaria)
IEA	International Energy Agency
IIE	Instituto de Investigaciones Eléctricas
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
ISCCS	<i>Integrated solar-combined cycle system</i> (Sistema integrado solar-ciclo combinado)
LAERFTE	Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
LASE	Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
LPDB	Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
LyFC	Luz y Fuerza del Centro

MtCO ₂ e	Millón de toneladas de bióxido de carbono equivalente (incluye gases de efecto invernadero distintos al CO ₂ en sus equivalentes en CO ₂ en cuanto al impacto en el cambio climático)
NESO	Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar
NMX	Norma Mexicana (voluntaria)
NOM	Norma Oficial Mexicana (obligatoria)
PERGE	Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala
PND	Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PPSIBDCT	Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico
PROCALSOL	Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SENER	Secretaría de Energía
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SIEPCRM	Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en México
SSA	Secretaría de Salud
USAID	United States Agency for International Development (Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos)

Prólogo

México tiene que aprovechar su potencial energético proveniente del viento, el sol, el agua, y el calor de la tierra. Este potencial abre una gran oportunidad para contribuir a nuestra seguridad energética, a la vez, que nos sumamos al esfuerzo global del combate al cambio climático.

La situación que vive la humanidad ante este fenómeno se ha convertido en un desafío. No podemos quedarnos con los brazos cruzados mientras el futuro del planeta está en juego. Atender este problema es urgente, y estamos avanzando con determinación para superarlo.

Tenemos una responsabilidad con las generaciones presentes y futuras. Tenemos la obligación de dejar un mundo mejor al que hemos recibido de nuestros padres, a fin de que nuestros hijos y nuestros nietos tengan mejores oportunidades.

Por ello, la Secretaría de Energía tiene el compromiso y la obligación de incorporar la sustentabilidad en el diseño e instrumentación de sus políticas públicas. Es en este marco que se presenta a la opinión pública este documento.

Cabe mencionar que la colaboración entre los países es primordial en el esfuerzo que estamos realizando para lograr la transición energética. Es así que los Gobiernos de México y Alemania emprendieron una labor de cooperación técnica para lograr esta publicación.

En el ánimo de contribuir al cuidado del medio ambiente este documento se presenta en versión electrónica.

Estoy segura de que será de gran utilidad para todos los interesados en el tema de energías renovables y que juntos podremos encontrar las soluciones que nos permitan diversificar la matriz energética del país a fin de que todos podamos vivir mejor.

Georgina Kessel Martínez
Secretaria de Energía

1 Introducción

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012 establece al Desarrollo Humano Sustentable como su principio rector. El PND retoma los postulados del Informe Mundial sobre Desarrollo Humano (1994) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de acuerdo con los cuales “el propósito del desarrollo consiste en crear una atmósfera en que todos puedan aumentar su capacidad y las oportunidades puedan ampliarse para las generaciones presentes y futuras”.

Uno de los elementos en la consecución de este principio rector es la política para la sustentabilidad energética, que busca incrementar la eficiencia energética y el aprovechamiento de las energías renovables en México, con una visión de largo plazo. El presente documento se enfoca en el segundo de estos dos elementos. Las energías renovables han estado incluidas en la política pública mexicana de distintas formas desde hace décadas, pero es la primera vez que ocupan un lugar tan importante en el PND, pues están explícitamente incluidas en seis de sus estrategias, que corresponden a dos distintos objetivos.

El Programa Sectorial de Energía 2007-2012¹ retoma los objetivos y estrategias del PND y propone, dentro de sus nueve objetivos, tres que están relacionados con el impulso a las energías renovables:

- El primero de ellos es “equilibrar el portafolio de fuentes primarias de energía”, y tiene como indicador cuantitativo aumentar durante la presente administración pública federal la participación de las energías renovables en la capacidad de generación de energía eléctrica de 23 a 26%. Cabe mencionar que este indicador contempla proyectos hidroeléctricos de más de 30 MW debido a que no se contaba con criterios para descartarlos previo a la publicación de la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
- El segundo objetivo es “fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles técnica, económica, ambiental y socialmente viables”, y retoma el indicador del objetivo anterior.
- El tercer objetivo consiste en “mitigar el incremento en las emisiones de gases efecto invernadero”, y busca duplicar las emisiones evitadas de 14 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalentes en 2006 a 28 MtCO_{2e} en 2012. El detalle de la potencial reducción de emisiones por el uso de fuentes renovables de energía está contenido en el Programa Especial de Cambio Climático².

¹ PROSENER (tinyurl.com/prosener).

² SEMARNAT, Programa Especial de Cambio Climático (tinyurl.com/PECambioClimatico).

Las energías renovables forman también parte importante de la política nacional de mitigación del cambio climático. Actualmente está en las etapas finales de preparación el Programa Especial de Cambio Climático, que incluirá entre sus objetivos y estrategias el desarrollo de las energías renovables.

Finalmente, las energías renovables cuentan hoy con un marco legal específico: la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de noviembre del 2008, que establece, entre otras disposiciones, la obligación de la Secretaría de Energía de elaborar un Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovable, así como una Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

El Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables³ incluye indicadores objetivos para la participación de fuentes renovables en la capacidad y generación en México. A diferencia del Programa Sectorial de Energía, los indicadores incluidos en este documento no incluyen los proyectos de hidroeléctricas de más de 30 MW de acuerdo con lo que marca la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Los indicadores del Programa Especial indican que, para el 2012, se espera contar con una capacidad de 7.6% y una generación entre el 4.5 y 6.6% del total nacional a partir de fuentes renovables de energía.

El presente documento muestra la situación actual de las tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, con particular referencia al caso de México (capítulo 2), identifica sus beneficios y particularidades (capítulo 3) y propone estrategias para potenciar los beneficios que ofrecen estas tecnologías a nuestro país (capítulo 4).

1.1 La definición de energías renovables

Las energías renovables (véase el cuadro de abajo) son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua. Las fuentes renovables de energía perdurarán por miles de años. Las energías renovables se pueden clasificar de distintas formas: por su origen primario de la energía, por el nivel de desarrollo de las tecnologías, y por las aplicaciones de las energías.

³ SENER, Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables (tinyurl.com/PRenovables)

¿Fuentes renovables de energía o energías renovables? La energía en cualquiera de sus formas no puede crearse ni destruirse; sólo se puede cambiar de una forma a otra (primera ley de la Termodinámica). Aunque la energía no se pierde, sí se degrada en un proceso irreversible (segunda ley de la Termodinámica). Por ello, en rigor la energía no puede considerarse *renovable*. Lo que puede renovarse es su fuente, por ejemplo el viento, o una caída de agua. Sin embargo, el uso del lenguaje ha llevado a las *fuentes renovables de energía* a denominarse simplemente *energías renovables*. En el presente documento se utiliza el término *energías renovables* en esta acepción común.

Cuadro 1. Clasificación de las energías renovables

Fuente de energía renovable	Origen primario de la energía			Nivel de desarrollo de las tecnologías			Aplicaciones		
	Energía del sol ⁽¹⁾	Calor de la corteza terrestre	Movimiento relativo de la luna y el sol	Tradicional	Nueva	En proceso de desarrollo	Electricidad	Calor ⁽²⁾	Combustibles líquidos
Eólica									
Radiación solar									
Hidráulica									
Bioenergía					(3)				
Geotermia						(4)			
Olas									
Mareas									
Corrientes oceánicas			(5)						
Otras energías oceánicas ⁽⁶⁾									

Notas:

⁽¹⁾ La mayoría de las fuentes de energía tienen a la energía del sol como origen de forma indirecta. Por ejemplo, en el caso del viento, la radiación solar calienta masas de aire, lo que a su vez provoca su movimiento.

⁽²⁾ Todas las fuentes renovables pueden ser utilizadas para generar electricidad, y a partir de ésta producir calor o energía para el transporte, pero aquí se muestran sólo aquellas fuentes que pueden tener estas aplicaciones de manera directa.

⁽³⁾ La bioenergía se utiliza tradicionalmente como combustible desde hace milenios. Sin embargo, existen también tecnologías para su aprovechamiento para generar electricidad o para la producción de biocombustibles, que son relativamente nuevas o que están en proceso de desarrollo.

⁽⁴⁾ La geotermia se aprovecha tradicionalmente de varias maneras, y existen además tecnologías en desarrollo, tales como la de rocas secas y la geotermia submarina.

⁽⁵⁾ Las corrientes oceánicas se deben a diversos factores: viento, diferencias en temperaturas, diferencias en salinidad, rotación de la tierra y mareas.

⁽⁶⁾ Otras energías oceánicas incluye el gradiente térmico oceánico y el gradiente de concentración de sal (en desembocaduras de ríos).

1.2 Perspectiva histórica

El aprovechamiento de la energía disponible de manera renovable en la naturaleza se encuentra en el origen del ser humano, cuando nuestros antepasados aprendieron a controlar el fuego, y de este modo aprovechar la energía de la biomasa. A lo largo de la historia de la humanidad, hemos aprovechado la energía de la biomasa, de la radiación solar directa, del viento, del movimiento del agua y de la geotermia de distintas maneras, y sólo es a partir de la revolución industrial cuando comenzamos a utilizar a gran escala la enorme cantidad de energía contenida en recursos no renovables: carbón, petróleo, gas natural y uranio, principalmente.

Desde principios del siglo XIX, pero primordialmente a lo largo del siglo XX, la humanidad aumentó exponencialmente la disponibilidad de energía gracias a la explotación de estos recursos no renovables, lo que dió lugar a la sociedad industrializada y urbanizada de la actualidad. Las fuentes no renovables de energía proporcionan hoy en día el 87% de la oferta primaria de energía en el Mundo⁴, mientras que en nuestro país este porcentaje es de 89%⁵.

Durante las últimas décadas se ha dado a nivel mundial un proceso de transición hacia una mayor participación de las energías renovables, impulsado por una serie de factores, entre los cuales se encuentran:

- las preocupaciones de soberanía y de seguridad en el abasto de energía en países importadores de energía, sobre todo a partir de las crisis petroleras, y la cada vez mayor volatilidad de los precios de los combustibles; y
- las preocupaciones por los impactos ambientales de los sistemas energéticos: en particular la lluvia ácida y, más recientemente, el cambio climático.

Este proceso de transición, impulsado por nuevas tecnologías y menores precios que son el resultado del desarrollo tecnológico e industrial, se ha acelerado desde finales de la década de los noventas en varios países del Mundo, entre los cuales resaltan Alemania, España, Dinamarca, Estados Unidos, Brasil, India y China. Gracias a una inversión anual de 40 mil millones de dólares en el año 2005 y de 71 mil millones

⁴ Dato correspondiente al 2006 (IEA, 2008c). Más del 70% de la energía primaria renovable corresponde al uso de leña y de otros combustibles sólidos de biomasa para cocción de alimentos y calefacción en países en desarrollo, en condiciones que se pueden calificar como no sustentables, debido a los impactos de la contaminación intramuros en la salud de los usuarios, así como, en algunos casos, a la deforestación.

⁵ Balance Nacional de Energía 2007. El 36% de la energía primaria renovable corresponde al uso de leña para cocción, en condiciones no sustentables.

en el 2007, la capacidad instalada y la producción de energía se han disparado en estos últimos años (véase el cuadro siguiente). La capacidad eólica es un buen indicador de este rápido crecimiento. Mientras que en 1985, la capacidad mundial era de 1,020 MW (equivalentes a menos de la mitad de la central termoeléctrica de Tuxpan)⁶, para el 2008 rebasó los 120,000 MW (es decir, más del doble de la capacidad total de generación de electricidad en México).

Cuadro 2. Desarrollo de las energías renovables en el mundo

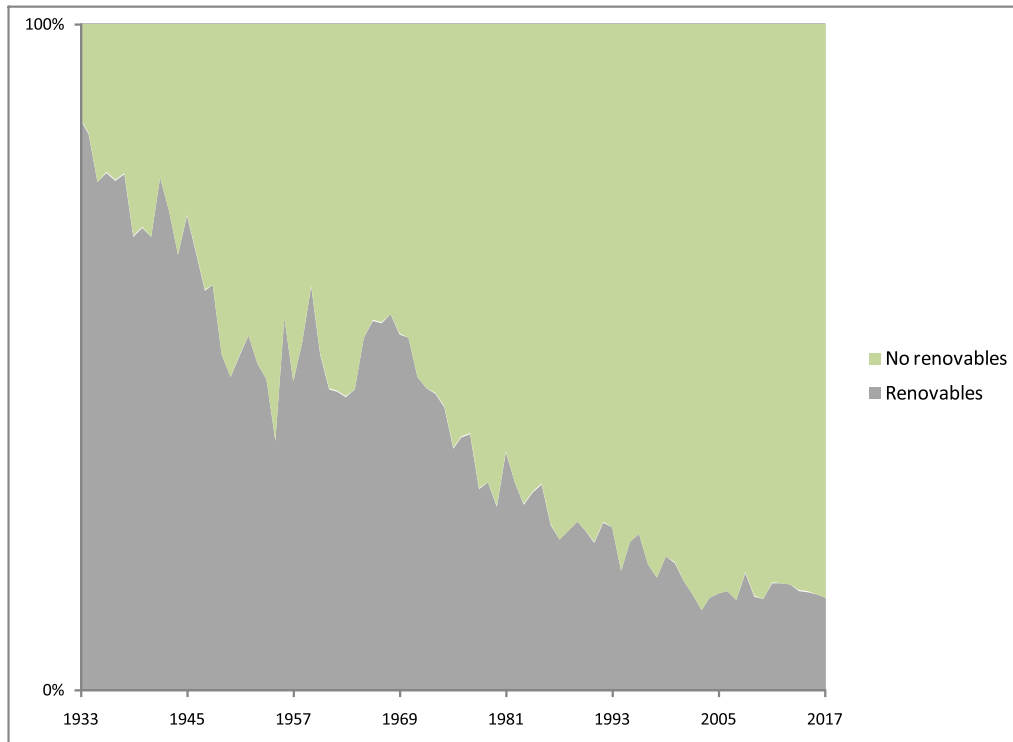
Aplicaciones	Fuentes / tecnologías	Capacidad Agregada en 2008 [GW]	Capacidad existente a finales de 2008 [GW]
Electricidad	Eoloeléctrica	27	121
	Solar fotovoltaica en red	5.4	13
	Concentración solar	0.06	0.5
	Grandes hidroeléctricas	25-30	860
	Pequeñas hidroeléctricas	6-8	85
	Bioenergía	2	52
	Geotermoeléctrica	0.4	10
Calor	Calentadores solares de agua	19	145
	Bioenergía	n/d	~250
	Geotermia	n/d	~50
Combustibles líquidos	Bioetanol	17	67
	Biodiesel	3	12

Fuente: Elaboración con información de REN21, 2009 (tinyurl.com/gsr2009).

1.3 El caso de México

La energía hidráulica fue el principal motor de la industrialización de nuestro país en el siglo XIX. Ingenios azucareros y fábricas de hilados y tejidos con ruedas hidráulicas se multiplicaron en muchas regiones del país. En el último tercio del siglo, las ruedas se sustituyeron por turbinas hidráulicas, y comenzó la generación de electricidad con esta tecnología. La energía hidráulica siguió desempeñando un papel importante en la oferta interna de energía pero su participación decayó durante la primera mitad del siglo XX ante el gran crecimiento en la utilización de combustibles fósiles, impulsado entre otros factores por la disponibilidad de petrolíferos y de gas natural, entonces baratos (véase la Ilustración 1).

Ilustración 1. Evolución de la participación de fuentes de energía en la generación de electricidad en México, 1933-2017



Incluye la generación para el servicio público y de particulares

Fuente: Elaboración a partir de registros y prospectivas de la Secretaría de Energía.

De acuerdo con la Prospectiva del Sector Eléctrico, la tendencia decreciente en la participación relativa de las energías renovables en la matriz energética del servicio público continuará durante los próximos años. Sin embargo, si se toman en cuenta los proyectos de autoabastecimiento y cogeneración, la participación de las energías renovables aumentará en los próximos años, lo que permitirá cumplir con la meta establecida en el Programa Sectorial de Energía 2007-2012 de alcanzar el 26% de participación en la capacidad instalada.

2 Las tecnologías

A continuación se describirá de manera somera las características principales de las distintas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, su situación actual y su potencial en México. No se incluyen aquí las tecnologías que se encuentran todavía en una etapa de desarrollo, tales como las oceánicas.⁷

2.1 Energía eólica

2.1.1 Tecnologías

Las turbinas eólicas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, ya sea para mover directamente una máquina tal como una bomba de agua, o bien para impulsar un generador eléctrico. Existen turbinas de muchos tamaños, desde unos 500 W, hasta más de 7 MW. Las de mayor tamaño están destinadas principalmente a granjas eólicas marinas. En el transcurso de las últimas dos décadas la tecnología de las turbinas eólicas ha avanzado radicalmente y sus costos se han reducido hasta hacerse competitivos con las tecnologías convencionales en contextos geográficos favorables (véase la ilustración de abajo).

Ilustración 2. Central eoloeléctrica de La Venta II



⁷ Para el potencial de estas tecnologías en México, véase Alcocer e Hiriart, 2008 (tinyurl.com/arpwdre). La Comisión Federal de Electricidad planea instalar un proyecto piloto a base de oleaje en Rosarito, Baja California, con una capacidad de 0.75 MW (El Universal, 2008; tinyurl.com/Rosarito).

2.1.2 Costos

El costo de las turbinas eólicas es de aproximadamente US\$1,700 por kW. El costo de la electricidad generada depende de la velocidad del viento y de su distribución a lo largo del año. En condiciones óptimas, con costos de alrededor de 5 centavos de dólar por kWh, esta tecnología resulta competitiva con muchas de las tecnologías convencionales de generación de electricidad.⁸

2.1.3 Estado actual

La energía eólica se ha desarrollado a pasos acelerados en el Mundo durante los últimos años. En el año 2008, la capacidad instalada mundial llegó a los 120,800 MW.⁹ En México existen en la actualidad 170 MW de capacidad eólica en operación,¹⁰ que se dividen en:

- 85 MW en los proyectos La Venta I y La Venta II operados por la CFE en el Istmo de Tehuantepec.
- 80 MW en el proyecto de autoabastecimiento Parques Ecológicos de México, que entró gradualmente en operación desde enero del 2009.
- 0.6 MW en una turbina de la CFE en Guerrero Negro, Baja California Sur.
- 2 MW en pequeños aerogeneradores en sitios aislados de la red.
- 3 MW en pequeñas aerobombas (turbinas eólicas que impulsan bombas hidráulicas).

Ilustración 3. Parque eólico



⁸ Para el caso de las granjas eólicas marinas, el costo de la electricidad sube a entre US\$8 y 12/kWh. Costo promedio de turbinas obtenido de Banco Mundial, 2008 (tinyurl.com/draftdoc1). Costo de electricidad: REN21, 2009 (tinyurl.com/gsr2008).

⁹ Tan sólo en el año 2008, se instalaron más de 27,000 MW de nueva capacidad eólica (GWEC, 2009; tinyurl.com/GWEC090202).

¹⁰ Balance Nacional de Energía 2007 (tinyurl.com/BNE2007) y Reforma, 2009 (tinyurl.com/NotaReforma).

Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala (PERGE) GEF-BM-SENER: El Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala (PERGE) cuenta con un donativo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), a través del Banco Mundial, por 25 millones de dólares. Su objetivo es impulsar las energías renovables en conexión a la red en México, y así contribuir a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes; aumentar la estabilidad de precios de la energía; aportar capacidad al Sistema Eléctrico Nacional, y cumplir con las necesidades de diversificación de fuentes de energía. El PERGE destinará 20 millones de dólares a incentivos para la Venta III, un proyecto eólico de 101 MW que se encuentra actualmente en proceso de construcción, y los 5 restantes para actividades de asistencia técnica por parte de la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La CFE pagará sus costos evitados, y el PERGE otorgará a los productores, a través de un mecanismo financiero, un incentivo fijo por unidad de energía generada durante los primeros 5 años de operación del proyecto. (SENER, 2009; tinyurl.com/36733h; contacto: jvalle@energia.gob.mx)

La CFE licitó recientemente otros dos proyectos denominados La Venta III y Oaxaca I, cada uno con una capacidad de 101.5 MW. Estos proyectos se realizarán en la modalidad de Producción Independiente de Energía. Otros tres proyectos de CFE en la misma modalidad con una capacidad total de 304 MW están planeados para entrar en operación en el transcurso de los próximos tres años.

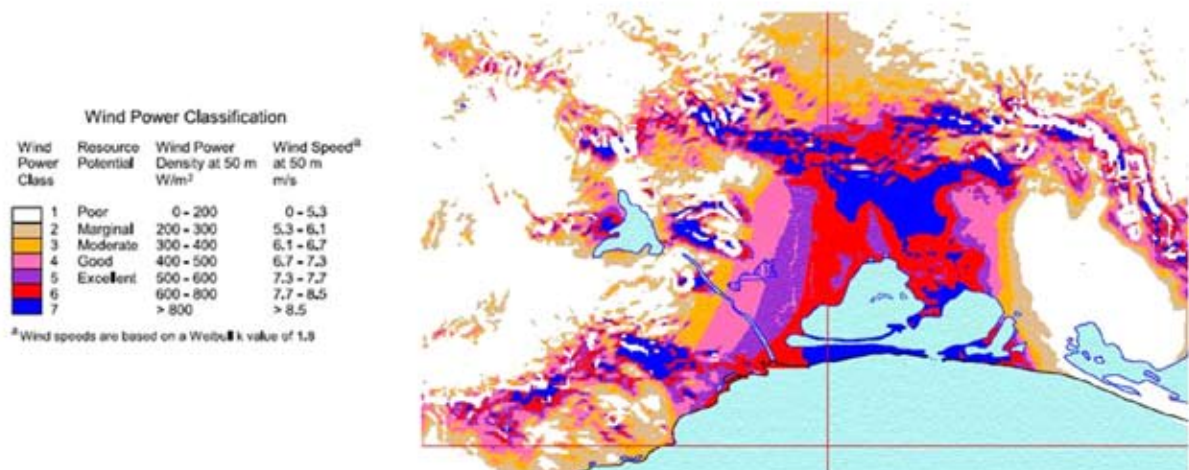
Por otro lado, están en proceso de construcción o de planeación un gran número de proyectos eólicos de autoabastecimiento y de exportación, ubicados principalmente en el Istmo de Tehuantepec, así como en La Rumorosa, en Baja California, Nuevo León y Tamaulipas. Estos proyectos, con una capacidad total de más de 2,000 MW, se han hecho posibles gracias a instrumentos regulatorios favorables (véase la sección 4.2.6).

Proyecto eólico GEF-PNUD-IIE: El "Plan de acción para eliminar barreras para el desarrollo de la generación eolieléctrica en México" es un proyecto de la Secretaría de Energía y del Instituto de Investigaciones Eléctricas, financiado con un donativo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. El proyecto busca, entre otros objetivos, promover el desarrollo de capacidades, realizar mediciones y mapas de viento, evaluar tecnologías, adoptar mejores prácticas internacionales, revisar el marco normativo y promover proyectos de pequeña escala. Como parte de este proyecto se está planeando la construcción del Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE) en el Istmo de Tehuantepec y se ha instalado una red de anemómetros en los estados de Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Chiapas y Yucatán. El IIE cuenta con los registros de las mediciones realizadas en estos puntos en el transcurso de los últimos años. (IIE, 2009; tinyurl.com/planeol; contacto: mabroja@iie.org.mx)

2.1.4 Potencial

El potencial eólico del país no ha sido evaluado de manera exhaustiva. Se han realizado, sin embargo, evaluaciones del recurso en regiones específicas. En particular el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos ha coordinado la realización de mapas eólicos para Oaxaca (véase ilustración de abajo), Baja California Sur, las costas de Yucatán y de Quintana Roo y las franjas fronterizas de los estados de Baja California, Sonora y Chihuahua.¹¹ Estos mapas se han realizado conjuntando información de estaciones meteorológicas con técnicas de prospección remota.

Ilustración 4. Fragmento del mapa eólico del estado de Oaxaca



Fuente: Wind Energy Resource Atlas de Oaxaca, National Renewable Energy Laboratory (NREL)

Como parte del proyecto “Plan de acción para eliminar barreras para el desarrollo de la generación eoloelectrica en México”, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha instalado anemómetros en diversos puntos del país y ha encontrado potenciales significativos en varios de ellos. Asimismo, como parte de las actividades del PERGE, está previsto que la Comisión Federal de Electricidad realizará en el transcurso de los próximos años una evaluación, la cual, junto con la información disponible de otras fuentes, permitirá contar con un mapa eólico nacional.

¹¹ Véase NREL, 2009 (tinyurl.com/NRELmaps) y Sandia National Laboratories, 2009 (tinyurl.com/SandiaMaps).2.2

Como parte del proyecto “Plan de acción para eliminar barreras para el desarrollo de la generación eoloelectrica en México”, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha instalado anemómetros en diversos puntos del país y ha encontrado potenciales significativos en varios de ellos.

Las posibilidades de desarrollo de la energía eólica en el corto y en el mediano plazo en México dependen no sólo del potencial físico del recurso, sino también de la capacidad industrial y de la capacidad del sistema eléctrico para absorber la electricidad generada sin poner en riesgo la seguridad y la estabilidad del sistema. La factibilidad económica de estos proyectos dependerá de los mecanismos regulatorios y del acceso a los instrumentos internacionales relacionados con la mitigación del cambio climático.

Existe también potencial técnico y económico para el desarrollo de sistemas eólicos en aplicaciones fuera de la red eléctrica, tales como la generación de electricidad y el bombeo de agua por medio de aerobombas.

2.2 Radiación solar para generación de electricidad

2.2.1 Tecnologías

Existen dos tecnologías para la generación de electricidad a partir de radiación solar: la fotovoltaica y la de concentración solar.¹² Las celdas fotovoltaicas transforman directamente la radiación solar en electricidad, por medio de un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico. Las celdas fotovoltaicas se pueden utilizar en conexión con la red eléctrica, o bien en sitios aislados, por medio de sistemas que incluyen baterías.

En las centrales de concentración solar, la radiación solar calienta un fluido, que a su vez mueve una máquina térmica y un generador eléctrico. El calentamiento del fluido se hace por lo general por medio de dispositivos ópticos que concentran la radiación solar, logrando altas temperaturas, del mismo modo en que con una lupa se puede quemar un pedazo de papel. Una de las versiones de esta tecnología consiste en espejos parabólicos que concentran la radiación solar en un tubo en el cual circula un fluido (véase ilustración de abajo), mientras que en la otra versión un conjunto de espejos concentran la radiación en una torre denominada torre solar.

Las centrales de concentración solar tienen la ventaja adicional de que pueden permitir, mediante inversiones adicionales, almacenar la energía en forma de calor, de manera que es posible generar electricidad aún cuando no hay radiación solar. Ambas tecnologías, la fotovoltaica y la de concentración solar, se han desarrollado aceleradamente en los últimos años, alcanzando eficiencias de más de 15%.

¹² Otras tecnologías, tales como la tecnología de torre de aire (energy tower), que aprovecha de manera indirecta la radiación solar, están en una etapa conceptual de desarrollo. Véase JIQ, 2009 (www.jiqweb.org/jiq0408.pdf).

Ilustración 5. Central solar de canal parabólico Kramer Junction, California



2.2.2 Costos

Entre las distintas tecnologías para la generación de electricidad a partir de la radiación solar, las centrales de concentración solar tienen los menores costos de inversión, con aproximadamente US\$2,200/kW.¹³ Los sistemas fotovoltaicos en conexión con la red cuestan US\$8,000/kW, y los sistemas fuera de red el doble.¹⁴ Los costos de la electricidad generada son todavía demasiado altos para poder ser competitivos con otras tecnologías: entre 12 y 18 US¢/kWh para centrales de concentración solar, entre 0.26US¢/kWh (Mx\$2.85) y 0.36 US¢/kWh (Mx\$3.94) para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México, suponiendo un costo de inversión de US\$7,490.90/kW (Mx\$82,400) y entre 40 y 60 US¢/kWh para sistemas rurales fotovoltaicos. Se espera, sin embargo, que estos costos disminuyan significativamente en el transcurso de los próximos lustros.

2.2.3 Estado actual

En el Mundo existe una capacidad instalada fotovoltaica de 13 GW en conexión con la red eléctrica, y de aproximadamente 2.7 GW fuera de red.¹⁵ La capacidad de concentración solar, por su lado, alcanza los 0.5 GW de capacidad.

¹³ Proyecciones para el año 2010 propuestas por el Banco Mundial, 2006 (tinyurl.com/wb2006).

¹⁴ Cifras promedio propuestas por el Banco Mundial, 2008 (tinyurl.com/draftdoc1). Ver también CONUEE/ GTZ, 2009.

¹⁵ REN21, 2009 (tinyurl.com/gsr2009). Datos de 2008.

En México, prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos se encuentran en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica, y muchos de ellos fueron instalados por medio de programas gubernamentales de electrificación rural. Se estima que la capacidad total de estas instalaciones es de 18.5 MW y que generan en promedio 0.032 TJ/año.¹⁶

Proyecto de Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en el Sureste de México: La Secretaría de Energía mediante el Proyecto Servicios Integrales de Energía dotará de electricidad a 50,000 viviendas (aproximadamente 250,000 habitantes); la mayoría de origen indígena y dentro de los Municipios de menor Índice de Desarrollo Humano en los Estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz, tanto para consumo doméstico como para detonar actividades productivas relacionadas con las vocaciones naturales de las comunidades, utilizando las tecnologías renovables más adecuadas y de mejor costo beneficio, asegurando la sustentabilidad de los proyectos en un periodo de ejecución de 5 años. El Proyecto requiere de la participación de diferentes organismos del Gobierno Federal (SEDESOL, CDI, FIRCO, IIE, CFE, NAFIN) y Estatal, así como Municipios. Además contempla la participación directa de la población beneficiada, organizaciones no gubernamentales, universidades, sector privado y empresas desarrolladoras de proyectos de Energías Renovables. El proyecto canalizará recursos por USD \$100 millones conformados por un préstamo del Banco Mundial por USD \$15 millones, una donación del Global Environment Facility (GEF- Banco Mundial) por USD \$15 millones, aportaciones por USD \$30 millones por parte de los Estados participantes, USD \$30 millones por parte de los municipios cuyas comunidades se beneficiarán y USD \$10 millones por otras fuentes. (SENER, 2009; tinyurl.com/SIE; virastorza@energia.gob.mx)

Gracias a nuevas regulaciones que hacen posibles las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica (véase la sección 4.2.6), ya existen en México algunos proyectos de este tipo (véase la Ilustración abajo), y hay interés de diversos actores por desarrollar más proyectos, en particular en Baja California. Sin embargo, la viabilidad económica depende fuertemente de los costos de inversión y la tarifa contra la cual el sistema compite.¹⁷

Por lo que se refiere a la tecnología de concentración solar, existen planes para la construcción de una instalación de este tipo en Agua Prieta, Sonora. Dicha instalación funcionaría en combinación con una central de ciclo combinado de gas natural.

¹⁶ Balance Nacional de Energía 2007 (tinyurl.com/BNE2007).

¹⁷ CONUEE/ GTZ, 2009 (tinyurl.com/NichosFV).

Ilustración 6. Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica



Proyecto de concentración solar Agua Prieta II: El proyecto de concentración solar Agua Prieta II contribuirá a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mediante la instalación de un sistema solar integrado de ciclo combinado (ISCCS) con tecnología de canales parabólicos solares. La capacidad neta del campo solar es de 10 MWT, estando el campo solar al 100% de carga integrado al ciclo combinado. El proyecto, conocido como Agua Prieta II, está planeado para ubicarse en el Estado de Sonora y contará con un donativo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, a través del Banco Mundial, por 49.35 millones de dólares. (Banco Mundial, 2009; tinyurl.com/AguaPrieta; contacto: jvalle@energia.gob.mx)

2.2.4 Potencial

La irradiación solar global en México es en promedio de 5 kWh/día/m², pero en algunas regiones del país se llega a valores de 6 kWh/día/m².¹⁸ Suponiendo una eficiencia del 15%, bastaría un cuadrado de 25 km de lado en el desierto de Sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requiere hoy en día el país. Por ello, el potencial técnico se puede considerar prácticamente infinito.

¹⁸ Mulás et al., 2005 (tinyurl.com/psuerm).

El potencial económico y financiero, sin embargo, se limita a nichos específicos debido a los altos costos de las tecnologías. Para comunidades aisladas de la red eléctrica, el alto costo de extensión de la red implica que la tecnología fotovoltaica sea en la mayoría de los casos la más económica para satisfacer aplicaciones energéticas de alto valor y poco consumo de energía, tales como iluminación y aparatos electrónicos.

Por lo que se refiere a la generación de electricidad en conexión con la red eléctrica, existen nichos de mercado financieramente viables para consumidores residenciales de electricidad de una capacidad de al menos 700 MW.¹⁹

2.3 Radiación solar para aplicaciones térmicas

La radiación solar se aprovecha tradicionalmente para una gran variedad de aplicaciones térmicas tales como la calefacción o refrigeración pasiva de edificios, la producción de sal o el secado de ropa, grano, madera, pescado y carne, en magnitudes que no se han cuantificado. Existen asimismo diversas tecnologías comerciales para el calentamiento de agua u otros fluidos o bien para refrigeración. No se abarcan aquí las tecnologías de refrigeración solar dado que no han alcanzado todavía una etapa de difusión comercial.

2.3.1 Tecnología

La principal tecnología para el aprovechamiento térmico de la radiación solar es el calentador solar de agua. Los calentadores solares se dividen principalmente en dos tipos: colectores solares planos y tubos evacuados. Los primeros constan a menudo de una placa metálica que recibe la radiación y que está soldada a tubos por los que circula el agua, todo colocado dentro de una caja cuya parte superior es de vidrio o de algún otro material transparente. Hay también colectores de bajo costo con tubos de plástico, que se usan para aplicaciones que requieren temperaturas menores, tales como el calentamiento de agua para albercas. Los tubos evacuados constan de tubos metálicos colocados dentro de tubos de vidrio. En el volumen entre ambos tubos se crea un vacío, con el fin de reducir las pérdidas de calor.

La mayoría de los calentadores solares cuentan con un tanque aislado en la parte superior. Gracias al principio del termosifón, el agua circula entre el calentador y el tanque sin requerir de ningún mecanismo adicional. Sin embargo, en algunas aplicaciones se requieren bombas para que circule el fluido. Las eficiencias de los calentadores solares son típicamente del 50%, aunque hay tecnologías con eficiencias mayores.

¹⁹ CONUEE/ GTZ, 2009 (tinyurl.com/NichosFV). Este potencial fue evaluado para 28 ciudades, sin incluir a la Ciudad de México, y está basado en un costo de inversión de 7,490 US\$/kWp instalado.

Ilustración 7. Calentadores solares de agua



2.3.2 Costos

Un calentador solar de agua estándar con un tanque de 150 litros con una eficiencia del 50% cuesta actualmente alrededor de US\$1,050.²⁰ Los costos por unidad de energía dependen del tamaño del sistema y varían entre 1 y 20 US¢/kWh.²¹

²⁰ Johnson, T.; C. Alatorre, Z. Romo y F. Liu, et al., 2009, México: Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono (MEDEC), Banco Mundial. (en prensa).

²¹ REN21, 2008 (tinyurl.com/gsr2007). Datos de 2007.

El Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México: La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), en colaboración con la GTZ y la Asociación Nacional de Energía Solar, A.C. (ANES), ha tomado la iniciativa de diseñar e implementar el Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (PROCALSOL), orientado a apoyar las acciones que en México se están considerando y desarrollando, a fin de complementarlas, de manera que, en el plazo de la presente administración federal, se amplíe significativamente el mercado de calentamiento solar de agua en los sectores residencial, comercial, industrial y de agronegocios de México. El PROCALSOL busca, asimismo, garantizar el nivel de calidad en los productos y servicios, favorecer el desarrollo de la industria nacional, y promover la adopción de tecnología desarrollada por los centros de investigación nacionales. El Programa plantea como meta global tener instalados, para el año 2012, un millón ochocientos mil metros cuadrados adicionales de calentadores solares de agua, mediante cuatro Líneas de Acción: Regulación, Financiamiento e incentivos económicos, Información y Gestión. (CONUEE, 2007; tinyurl.com/Procalsol; www.procalsol.gob.mx; contacto: jbrash@conuee.gob.mx)

2.3.3 Estado actual

A finales del 2007 había en el Mundo una superficie instalada de aproximadamente 208 millones de metros cuadrados de calentadores solares de agua, de los cuales correspondían a México un millón de m².²² Con una generación anual de calor per cápita de 41 MJ, nuestro país se encuentra rezagado en esta materia en comparación de países como Brasil (con 380 MJ), China (con 1,600 MJ) o Israel (con 17,000 MJ) per cápita por año.²³

2.3.4 Potencial

Al igual que para el caso del aprovechamiento de la radiación solar para la generación de electricidad, el potencial técnico para el aprovechamiento térmico de la radiación es prácticamente ilimitado. Por ello, el potencial para el desarrollo de esta tecnología depende más bien de la demanda para el calentamiento de fluidos a baja temperatura en los sectores residencial, comercial, de servicios, industrial y agrícola, que

²² Weiss et al., 2009 (tinyurl.com/IEAshw09). Datos para México basados en el Balance Nacional de Energía 2007 (tinyurl.com/BNE2007).

²³ Cálculos realizados a partir de REN21, 2008 (tinyurl.com/gsr2007) y de IEA, 2008c (tinyurl.com/kwes08). Las cifras para estos tres países excluyen los sistemas de calentamiento que no cuentan con cubiertas de cristal y que se utilizan principalmente para albercas..

se ha estimado en 230 PJ/año, en combustible.²⁴ Suponiendo que la mitad de esta demanda podría ser satisfecha por calentadores solares de agua, el potencial para el desarrollo de esta tecnología sería de 35 millones de m² de colectores solares, que proveerían 115 PJ/año, equivalentes al 2.5% del consumo final energético de México. Todo este potencial es económicamente viable.

Normas para calentadores solares de agua: El desarrollo de diversos tipos de normas es un ingrediente importante en el desarrollo del mercado para los calentadores solares de agua. El Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar, “NESO 13”, ha elaborado y está elaborando varias normas voluntarias para métodos de prueba y etiquetado, y requerimientos mínimos para la instalación, entre otras. Por otro lado, el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales desarrolló una Norma Técnica de Competencia Laboral para la instalación de sistemas de calentamiento solar de agua, publicada en el DOF el 05 de Febrero del 2009 (tinyurl.com/nusim005). El Gobierno del Distrito Federal expidió en 2006 una norma (tinyurl.com/nadf008) haciendo obligatoria la instalación de estos dispositivos en establecimientos medianos (51 a 100 empleados) y grandes (más de 100 empleados) y aquellos que efectúen remodelación total de sus instalaciones, que requieran agua caliente para realizar sus actividades. La capacidad mínima de operación del sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar tiene que proveer al menos 30% del consumo energético anual, por utilización de agua caliente para cada establecimiento. En Guadalajara y Monterey se está considerando el establecer normas similares. Actualmente, las Normas Mexicanas de Energía Solar expedidas son: NMX-ES-001-NORMEX-2005-Energía Solar-Rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua-Métodos de Prueba y Etiquetado; NMX-ES-002-NORMEX-2007-Energía Solar-Definiciones y Terminología; NMX-ES-003-NORMEX-2007-Energía Solar-Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos, para calentamiento de agua. Existe un proyecto de Norma Mexicana de Energía Solar: PROY-NMX-ES-004-NORMEX-2009-Energía Solar-Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua-Método de Prueba (contacto para las NMX: comer@normex.com.mx). Además, existe un Dictamen de Idoneidad Técnica para evaluar si los sistemas cumplen con un ahora mensual mínimo de 13.5 kg de gas LP exigido en el marco de la Hipoteca Verde del Infonavit. (tinyurl.com/DITfeb08; contacto: Franco Buzio: onnccce@mail.onnccce.org.mx)

²⁴ PROCALSOL, 2007 (tinyurl.com/Procalsol)

2.4 Energía hidráulica

2.4.1 Tecnología

La tecnología más usada en la actualidad para aprovechar la energía del movimiento del agua es la turbina hidráulica. Existen distintos tipos de turbinas; dependiendo de las características de cada sitio (por ejemplo, sitios con gran caída y bajo caudal, o de baja caída y gran caudal), se selecciona el tipo más adecuado. Las turbinas hidráulicas se utilizan por lo general para la generación de electricidad, aunque también pueden impulsar directamente maquinaria industrial. Además de las turbinas, existen otras tecnologías como las ruedas hidráulicas y las bombas de ariete, utilizadas para aplicaciones de pequeña escala tales como el bombeo de agua.

Ilustración 8. Pequeña central hidroeléctrica de Las Trojes (8 MW)



Hidroeléctricas grandes y pequeñas: Las centrales hidroeléctricas constan, por lo general, de una presa que permite almacenar el agua de una estación a otra. Sin embargo, existen también pequeñas centrales hidroeléctricas sin presa, denominadas “al hilo del agua”, que aprovechan en cada momento el caudal disponible. Las grandes presas generan beneficios indudables para los sistemas eléctricos, además de otros beneficios como el riego y el control de inundaciones. Sin embargo, también producen diversos impactos ambientales y sociales. Con el fin de encontrar estrategias para maximizar estos beneficios y minimizar estos impactos, se formó en 1998 la Comisión Mundial de las Represas, que publicó en el 2000 su informe final con una serie de recomendaciones. (CMR, 2000; www.dams.org)

2.4.2 Costos

Las centrales hidroeléctricas tienen costos relativamente bajos y compiten favorablemente con las tecnologías de energías no renovables. Aunque los costos de inversión varían mucho de un sitio a otro, un valor promedio es US\$2,100/kW,²⁵ mientras que el costo de la electricidad generada es típicamente de entre 3 y 4 US¢/kWh.²⁶

2.4.3 Estado actual

Existe en el Mundo una capacidad hidroeléctrica instalada de 860 GW.²⁷ En México la capacidad hidroeléctrica instalada es de 11.4 GW, de los cuales aproximadamente 300 MW corresponden a pequeñas centrales de las empresas públicas, y 90 MW a centrales privadas de autoabastecimiento. La generación es de 27,300 GWh/año.²⁸ La Prospectiva del Sector Eléctrico contempla la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas con una capacidad de 1,224 MW en el transcurso de los próximos 10 años.

²⁵ El costo para pequeñas centrales hidroeléctricas es en promedio de US\$2,300/kW, de acuerdo con el Banco Mundial, 2006 (tinyurl.com/wb2006).

²⁶ El costo de la electricidad generada en pequeñas centrales es de entre US¢4 y 7/kWh, según REN21, 2008 (tinyurl.com/gsr2007), datos de 2007.

²⁷ REN21, 2009 (tinyurl.com/gsr2009).

²⁸ Datos para 2007 de la Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017 (tinyurl.com/PSE2017) y de la Comisión Reguladora de Energía. No se incluyen las pocas centrales hidroeléctricas en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica ni las instalaciones para aplicaciones distintas a la generación de electricidad.

²⁹ Cálculos a partir de CFE, 2000.

2.4.4 Potencial

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha identificado el potencial hidroeléctrico del país en aquellos sitios con una potencia media mayor de 5 MW. Excluyendo las centrales en operación y en planeación, el potencial identificado es de 39 GW.²⁹ Este potencial es meramente indicativo, pues falta definir la factibilidad técnica, económica, ambiental y social para muchos de estos proyectos. Se puede suponer sin embargo que por lo menos el 25% de este potencial sea factible.

Existe además un potencial importante en centrales de menor tamaño, pero, con la excepción de un estudio realizado en una región de los estados de Puebla y Veracruz,³⁰ este potencial no se ha evaluado. De manera muy preliminar se ha estimado que el potencial nacional para pequeñas hidroeléctricas es de alrededor de 3 GW.³¹ Al igual que para el caso de la energía eólica, en la medida en que se reconozcan los distintos beneficios de las pequeñas centrales hidroeléctricas, incluyendo su impacto en la mitigación del cambio climático, este potencial será económica y financieramente factible. Existe también un potencial no identificado para la construcción de micro-centrales hidroeléctricas para abastecer de electricidad a comunidades aisladas de la red eléctrica, así como para satisfacer otros servicios energéticos como el bombeo de agua por bombas de ariete.

2.5 Bioenergía

2.5.1 Tecnología

La bioenergía en sus distintas formas se puede aprovechar en aplicaciones térmicas, para la generación de electricidad o para la producción de biocombustibles líquidos para transporte.

Por lo que se refiere a las aplicaciones térmicas, las tecnologías más usadas en México son los fogones tradicionales de leña, utilizados para cocción y para calefacción en viviendas rurales y de pequeñas ciudades. Asimismo, la leña se utiliza en microempresas y en pequeñas industrias para la producción de cerámica, ladrillos, pan y otros productos. En las últimas décadas se han desarrollado distintos modelos de estufas y hornos de leña mejorados con el fin de reducir los impactos en la salud que provoca el humo de los fogones tradicionales, así como reducir el consumo de leña.

²⁹ REN21, 2009 (tinyurl.com/gsr2009).

³⁰ CONAE, 1995.

³¹ Mulás *et al.*, 2005 (tinyurl.com/psuerm).

Programa de sustitución de fogones abiertos por fogones ecológicos: Como parte del Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias, la Secretaría de Desarrollo Social, a través de la Unidad de Microrregiones, y en coordinación con CONAFOR y CDI, está sustituyendo fogones abiertos por estufas mejoradas de leña en comunidades rurales de todo el país, con énfasis en los municipios de la Estrategia 100x100. El proyecto busca disminuir los índices de contaminación registrados por exceso de humo dentro de la casa, proteger el medio ambiente al disminuir el uso de biomasa como energético, generar mecanismos para el ahorro de energía que repercuten positivamente en la economía familiar y reducir las emisiones contaminantes. Paralelamente, se generan estrategias de comunicación masiva para sensibilizar a la población sobre los problemas relacionados con el uso de la leña y sus impactos nocivos en la salud, el medio ambiente y la calidad de vida.

(SEMARNAT, 2008; tinyurl.com/trdsapf8; www.microrregiones.gob.mx/pdzp.html; contacto: ramon.medina@sedesol.gob.mx)

Ilustración 9. Estufa mejorada de leña "Onil", Zinacantán, Chiapas



La biomasa se utiliza además en varias aplicaciones industriales: la energía contenida en productos de biomasa o derivados de la biomasa tales como el bagazo de caña, el licor negro, el biogás y distintos residuos agrícolas y agroindustriales son utilizados en industrias por medio de calderas y otras tecnologías para la producción de calor y, en algunos casos, electricidad.

Finalmente, la biomasa se utiliza para producir biocombustibles en varios países encabezados por Brasil, Estados Unidos y Alemania. Los principales biocombustibles son el bioetanol (alcohol etílico) y el biodiesel. Ambos se pueden mezclar en proporciones pequeñas (de menos del 10%) con gasolina y diesel, respectivamente, sin necesidad de hacer adaptaciones en los motores de vehículos modernos. El bioetanol se puede producir a partir de cultivos de azúcar (como la caña, la remolacha y el sorgo dulce), cultivos feculentos (como el maíz y la yuca) y materiales celulósicos. El biodiesel, por su parte, se elabora a partir de diferentes especies oleaginosas, tales como palma de aceite, piñón (*jatropha*) o colza.³²

Programas de biocombustibles: Con el fin de promover la producción y utilización de biocombustibles en México, el Gobierno Federal está trabajando en la elaboración de una Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos, que se complementará con dos programas sectoriales: el Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico de la SAGARPA, y el Programa de Introducción de Bioenergéticos de la Secretaría de Energía. Con la Estrategia y los Programas, “se establecerán las bases por las que la actividad agropecuaria se integrará a la actividad energética, coadyuvando a la diversificación energética y el desarrollo sustentable, sin poner en riesgo la seguridad alimentaria del país, además de contribuir a la reactivación del sector rural y la mejor calidad de vida para la población, en particular la de alta y muy alta marginalidad,” buscando alcanzar una meta de 300 mil hectáreas dedicadas a cultivos que sirvan de insumos para bioenergéticos en el 2012, en particular bioetanol y biodiesel. (SENER/ SAGARPA/ SEMARNAT; tinyurl.com/eibioen; tinyurl.com/ppsibio; contactos: SENER, garboleya@energia.gob.mx; SAGARPA, miguel.cervantes@sagarpa.gob.mx; SEMARNAT, jorge.lestrade@semarnat.gob.mx)

³² FAO, 2008 (tinyurl.com/sofaesp).

2.5.2 Costos

Las tecnologías para la generación de electricidad y/o calor a escala industrial a partir de la biomasa tienen un costo aproximado de US\$1,500/kW. Los costos correspondientes de la energía son de entre 5 y 12 US¢/kWh para la electricidad, y de entre 1 y 5 US¢/kWh para el calor.³³

Las estufas mejoradas de leña tienen un costo aproximado de US\$150, que incluye los costos de capacitación y de seguimiento.

Finalmente, las plantas de producción de bioetanol y de biodiesel requieren respectivamente de inversiones de US\$390 y \$330 por cada m³ al año de capacidad. Los costos de producción varían mucho de acuerdo con las circunstancias locales, pero las referencias internacionales sugieren valores de entre 25 y 30 US¢/litro para el bioetanol, y de entre 40 y 80 US¢/litro para el biodiesel.³⁴

Proyecto de Desarrollo Rural Sustentable para el Fomento de las Fuentes Alternas de Energía en los Agronegocios: El Fideicomiso de Riesgo Compartido de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación está implementando un proyecto de energías renovables, dentro de su programa de apoyo a agronegocios. El proyecto cuenta con diversas fuentes de financiamiento, incluyendo un donativo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), así como créditos sustentados en un mecanismo de reembolso de las inversiones, con un escenario de 5 años. El proyecto apoya instalaciones de energía solar, energía eólica y biodigestores, con diversas aplicaciones productivas, así como mejoras en la eficiencia energética. (tinyurl.com/fae2009, tinyurl.com/fircoper; contacto: omontufar@firco.gob.mx)

³³ Cifras para tecnología de madera granulada (pellets). Proyección de costos de inversión para generación de electricidad del Banco Mundial, 2006 (tinyurl.com/wb2006), y costos de tecnologías térmicas propuestos por Masera et al., 2006b (tinyurl.com/biocds). Costos de la energía generada de REN21, 2008 (tinyurl.com/gsr2007).

³⁴ Costos de inversión de Johnson et al., 2009 (en prensa). Costos de combustibles de REN21, 2008 (tinyurl.com/gsr2007). Los costos de combustibles están referidos a litros equivalentes de gasolina y de diesel, de acuerdo con la capacidad calórica. Los datos de bioetanol se refieren al bioetanol de caña de azúcar.

2.5.3 Estado actual

Las tecnologías modernas de energía de la biomasa satisfacen el 4% de la demanda primaria de energía mundial, en forma de calor, electricidad y combustibles líquidos,³⁵ principalmente en países desarrollados. En México el bagazo de caña es, después de la leña, la principal fuente de bioenergía, que se utiliza en ingenios azucareros para la producción de calor y de electricidad para consumo del propio ingenio. Se estima que se aprovechan 100 PJ de bagazo al año, equivalentes al 1.2% de la oferta interna bruta de energía.³⁶

Las tecnologías tradicionales de biomasa, por su parte, satisfacen el 6% de la demanda primaria de energía en el Mundo. En México, el uso tradicional de la leña aporta el 3% de oferta interna y el 28% de la energía consumida por el sector residencial en México. Se estima que este combustible es usado por alrededor de una cuarta parte de la población, por medio de fogones tradicionales.

2.5.4 Potencial

El potencial de la bioenergía en México va mucho más allá del limitado aprovechamiento que se hace de ella en la actualidad. Se calcula que el potencial total es de entre 3,000 y 4,500 PJ/año.³⁷ Este potencial se divide en combustibles de madera (provenientes de bosques naturales o de plantaciones, o subproductos de la extracción forestal y la industria maderera), agrocombustibles y biogás de rellenos sanitarios. A partir de este potencial, sería posible, de manera sustentable:

- Satisfacer las necesidades de energía para cocción y calefacción de la población que actualmente usa leña, por medio de estufas mejoradas.
- Producir carbón vegetal para usos domésticos, pequeños comercios y también para sustituir el uso de coque en la industria siderúrgica.
- Generar aproximadamente 50,000 GWh de electricidad al año a partir de madera en pequeñas centrales eléctricas (20% de la demanda nacional de electricidad).
- Producir bioetanol y biodiesel para satisfacer hasta el 10% de la demanda de gasolina y 5% de la demanda de diesel, respectivamente.³⁸

Con la excepción de la producción de biocombustibles, todas estas opciones son actualmente económicamente factibles, en la medida en que se valoren sus ventajas, en cuanto a reducción de impactos en salud por el uso de fogones tradicionales, y reducción de la deforestación por el manejo forestal sustentable.

³⁵ IEA, 2008d (www.worldenergyoutlook.org).

³⁶ Balance Nacional de Energía 2007 (tinyurl.com/BNE2007).

³⁷ Entre el 35 y el 55% de la oferta interna bruta de energía. Masera et al., 2006b (tinyurl.com/biocds). Ver también: Masera, 2006 (tinyurl.com/pvubbtm).

³⁸ Masera, 2006 (tinyurl.com/pvubbtm).

2.6 Geotermia

2.6.1 Tecnología

La geotermia o calor de la corteza terrestre se puede utilizar para generar electricidad o bien para aplicaciones térmicas como calefacción de interiores, balnearios y procesos industriales o agroindustriales. Existen cinco tipos de recursos geotérmicos, y cada uno está asociado con tecnologías específicas para su aprovechamiento: (a) hidrotermales, (b) roca seca caliente, (c) geopresurizados, (d) marinos y (e) magmáticos.³⁹ Los primeros son los que se explotan actualmente en México y en otros países, mientras que los otros cuatro se encuentran en proceso de investigación y desarrollo.

Los recursos hidrotermales se dividen a su vez en recursos de alta entalpía y de baja entalpía. Los primeros se pueden utilizar para la generación de electricidad, mientras que los segundos se utilizan normalmente sólo para aplicaciones térmicas.

Ilustración 10. Planta Geotérmica: Los Azufres, Michoacán



³⁹ Mulás et al., 2005 (tinyurl.com/psuerm).

2.6.2 Costos

La geotermia requiere de altos costos de inversión en exploración, perforación de pozos y en la construcción de la central propiamente dicha. Los costos de inversión son de aproximadamente US\$3,800/kW, y los costos de la electricidad generada de entre 4 y 7 US¢/kWh. Por lo que se refiere a las aplicaciones térmicas de los recursos geotérmicos, sus costos son menores, de entre 0.5 y 2 US¢/kWh.⁴⁰ Estos costos son competitivos con otras opciones.

2.6.3 Estado actual

La capacidad de generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos en el Mundo es de poco más de 10 GW.⁴¹ Nuestro país cuenta con aproximadamente la décima parte de esta capacidad - 960 MW - y ocupa el tercer lugar mundial. La Prospectiva del Sector Eléctrico contempla la instalación de 233 MW adicionales en el transcurso de los próximos diez años.⁴² Por lo que se refiere a las aplicaciones térmicas, actualmente se concentran mayormente en balnearios de aguas termales, aunque se reportan casos aislados de calefacción de edificios, secado de madera, invernaderos y cultivo de hongos.⁴³

2.6.4 Potencial

Debido al alto costo de la exploración geotérmica, no se ha realizado una evaluación minuciosa del potencial geotérmico en nuestro país. Se han hecho, sin embargo, algunas estimaciones. Por lo que se refiere a las reservas de alta temperatura (aptas para la generación de electricidad), se ha estimado un potencial de alrededor de 12 GW eléctricos.⁴⁴ Las reservas de baja temperatura son mucho más cuantiosas (un estudio, por ejemplo, sugiere una cifra de 45 GWe⁴⁵ sumando el potencial de dos regiones en el Centro y Norte del país), lo que implicaría que en estas regiones sería posible aprovechar este potencial prácticamente ilimitado para aplicaciones industriales y residenciales. En suma, el potencial técnico y económico de las aplicaciones eléctrica y térmica no se ha evaluado.

⁴⁰ Las cifras se refieren a la tecnología binaria. Proyecciones de costos de tecnología al año 2010 del Banco Mundial, 2006 (tinyurl.com/wb2006). Costos de la energía generada de REN21, 2008 (tinyurl.com/gsr2007).

⁴¹ REN21, 2009 (tinyurl.com/gsr2009).

⁴² Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017 (tinyurl.com/PSE2017).

⁴³ Mulás *et al.*, 2005 (tinyurl.com/psuerm).

⁴⁴ Mercado (1976) propone un potencial de 13 GW, mientras que Alonso (1985) sugiere una cifra de 12 GW, divididos del siguiente modo: reservas probadas, 1.3 GW, probables 4.6 GW y posibles 6 GW.

⁴⁵ Mercado *et al.*, 1985.

3 Beneficios y particularidades

3.1 Los beneficios de las energías renovables

La experiencia internacional demuestra que las energías renovables producen diversos tipos de beneficios a los sistemas energéticos y a los países en su conjunto. Estos beneficios son tanto económicos, como sociales y ambientales. Revisaremos a continuación cuáles son estos beneficios, con referencia en particular al caso de México.

3.1.1 Beneficios económicos

Reducción de los costos y los riesgos económicos de la energía

Muchas tecnologías de energías renovables, tales como los calentadores solares de agua o los sistemas de electrificación rural para comunidades aisladas, son las opciones más económicas para sus usuarios. Su uso les reporta, por tanto, importantes ahorros de manera directa.

Otras tecnologías de energías renovables, tales como la generación de electricidad a partir de energía eólica, pueden ser aparentemente más costosas que las tecnologías convencionales cuando se evalúan de manera aislada. Sin embargo, al analizar el sistema energético en su conjunto, y al tomar en cuenta no sólo los costos de la energía sino también los riesgos relacionados con la variabilidad de dichos costos, se observa que las energías renovables, gracias a sus riesgos pequeños o nulos, permiten en realidad, en muchos casos, reducir los costos del sistema.

El Modelo de Optimización de Portafolios Tecnológicos para la Generación de Electricidad en México: Los bajos riesgos de las energías renovables se deben al hecho de que una vez realizada la inversión en infraestructura, los costos de operación permanecen prácticamente constantes. La reducción de costos debida a los menores riesgos de las energías renovables se puede observar por medio de las técnicas modernas de análisis y manejo de riesgos, aplicadas a los sistemas energéticos. Una de estas teorías es la “teoría moderna de la selección de cartera” (*modern portfolio theory*), desarrollada originalmente por el Premio Nobel Harry Markowitz, la cual “propone que el inversionista debe abordar la cartera como un todo, estudiando las características de riesgo y retorno (o costo) global, en lugar de escoger valores individuales en virtud del retorno esperado de cada valor en particular”

(es.wikipedia.org: *teoría de portafolio*). Al aplicar esta teoría a los sistemas energéticos, se puede demostrar que la solución óptima es tener un adecuado balance entre fuentes de alto riesgo y fuentes de bajo riesgo, incluso si éstas son más caras cuando se evalúan de manera aislada. (Ver también Cabraal et al., 2007; Awerbuch, 2004; Bolinger et al., 2003). La Secretaría de Energía está actualmente desarrollando un modelo de planeación denominado “Modelo de Optimización de Portafolios Tecnológicos para la Generación de Electricidad en México” (MOPTTEG), que busca tomar en cuenta el factor riesgo en la planeación.

(www.awerbuch.com; tinyurl.com/4jy832; tinyurl.com/pfbegp; tinyurl.com/5yrf9c)

Contribución a la soberanía energética

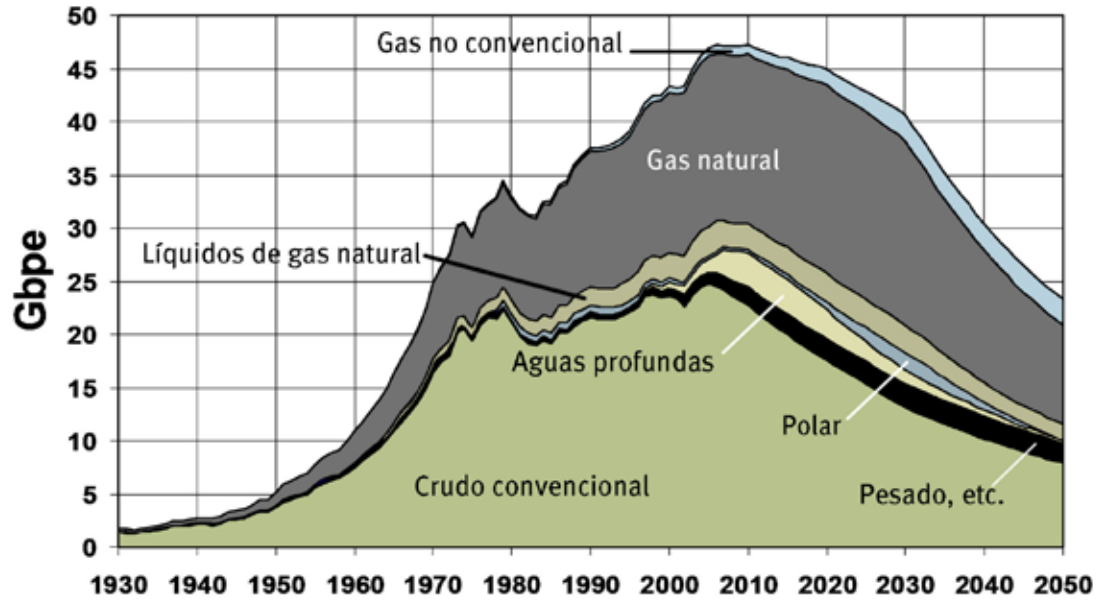
Nuestro país ha sido un importante exportador de energía, principalmente en forma de petróleo crudo, desde los años setenta. Sin embargo, en la actualidad la producción de crudo está disminuyendo, sobre todo debido a la declinación de Cantarell, el principal campo petrolero del país, mientras que las importaciones de gas natural, gasolinas, carbón y otros productos petrolíferos están aumentando. En el 2007, el valor económico de las importaciones de combustibles fósiles superó el 40% del valor de las exportaciones y este porcentaje sigue aumentando. La participación de las energías renovables permitiría conservar nuestros recursos no renovables y, por lo tanto, posponer el posible momento en que el país se convierta en importador neto de energéticos. De este modo contribuyen a una mayor soberanía energética, es decir, una menor dependencia de otros países en materia de energía.

Aumento de la seguridad en el abasto de energía

El futuro del abasto de combustibles fósiles a nivel mundial es un tema que preocupa a cada vez más actores. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA), la producción de petróleo en el mundo aumentará de 82 a 104 millones de barriles al día entre 2007 y 2030.⁴⁶ En contraste, algunos analistas de la industria mundial de los hidrocarburos aseguran que nos encontramos ya en el cenit en la curva de producción mundial de hidrocarburos (véase la Ilustración de abajo).

⁴⁶ IEA, 2008d (www.worldenergyoutlook.org).

Ilustración 11. Escenario de evolución de la producción mundial de hidrocarburos



Gbpe: Miles de millones de barriles de petróleo equivalente por año.

Fuente: Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO), 2008.

Ilustración 12. Aplicación de calentadores solares de agua en desarrollo residencial



⁴⁴ IEA, 2008d (www.worldenergyoutlook.org).

BENEFICIOS Y PARTICULARIDADES

En este contexto, resulta necesario tomar con seriedad los posibles escenarios y considerar que existen riesgos de restricciones en el abasto de energía en el mediano y el largo plazos. En cualquier escenario, las energías renovables desempeñan un importante papel en aumentar la seguridad en el abasto de energía.

3.1.2 Beneficios sociales: Desarrollo rural e industrial

Mayor acceso a servicios energéticos sustentables en áreas rurales

La provisión de energía es uno de los principales motores para el desarrollo rural, y las energías renovables son a menudo la mejor opción para proveer de servicios energéticos a comunidades rurales. En particular, la electrificación rural por energías renovables es, en muchos casos, una opción más rentable que las extensiones de la red eléctrica, para el 2.5% de las viviendas del país que no disponen de acceso a la energía eléctrica.⁴⁷ Existen además otras aplicaciones térmicas y mecánicas de las energías renovables en el medio rural, tales como las estufas eficientes de leña, los biodigestores, las aerobombas y las bombas de ariete, relevantes para aplicaciones tanto domésticas como productivas.

Fomento del desarrollo industrial y rural

Las tecnologías de energías renovables son más intensivas en la utilización de mano de obra que las tecnologías energéticas convencionales. La experiencia internacional muestra que su fabricación y operación da lugar a la creación de una cadena local de valor, con creación de pequeñas empresas y de empleos. Se estima que en el Mundo hay actualmente 2.3 millones de personas trabajando en la industria de las energías renovables.⁴⁸ A la luz de estos datos, se estima que en México el desarrollo acelerado de las energías renovables, aunado con mecanismos de política industrial, podría conducir a la creación de al menos 100,000 empleos.

Asimismo, la experiencia internacional muestra que muchos de los proyectos de energías renovables se ubican en áreas rurales y tienen impactos positivos en el desarrollo rural.⁴⁹ Estos impactos se dan sobre todo en forma de un mayor ingreso para los pobladores (a través de contratos de arrendamiento, empleos locales, o bien de la participación de los pobladores como socios de los proyectos). También pueden existir otros tipos de impactos en cuanto a la educación, la capacitación para el trabajo, el desarrollo de capacidades empresariales, etc. Como sucede con cualquier proyecto de desarrollo rural, el impacto positivo de los proyectos de energías renovables depende de la medida en que se generen mecanismos adecuados para el flujo de información, la distribución de los beneficios, el fortalecimiento del capital social y el desarrollo de proyectos sociales de largo plazo.

⁴⁷ INEGI, 2008 (tinyurl.com/cpv2005).

⁴⁸ Worldwatch, 2008 (tinyurl.com/3snlfr). La décima parte de esta cifra se concentra en Alemania.

⁴⁹ Ver REN21, 2005 (tinyurl.com/retsmgd).

3.1.3 Beneficios ambientales globales y locales

Mitigación del cambio climático

En México el sector energía contribuye con el 61% de las emisiones de gases de efecto invernadero, y el país ocupa el lugar número 13 a nivel mundial en cuanto a sus emisiones de estos gases.⁵⁰ El aprovechamiento de las energías renovables, al desplazar el consumo de combustibles fósiles, constituye una de las principales estrategias de mitigación del cambio climático a nivel mundial. Debido a su alta vulnerabilidad ante el cambio climático, nuestro país tiene un interés particular para promover mecanismos globales de mitigación, y para pregonar con el ejemplo ante la comunidad internacional. El desarrollo de proyectos de energías renovables representa además para México una oportunidad importante de captar recursos internacionales de los mercados de bonos de carbono (el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto y otros mercados como los voluntarios).

Reducción de los impactos del sector energía sobre la salud y el medio ambiente

El sector energía produce emisiones de otros gases y partículas contaminantes, con efectos locales directos o indirectos en la salud de las poblaciones humanas, la conservación de la biodiversidad y la conservación de monumentos históricos. Es, en particular, el caso del dióxido de azufre (SO₂), que reacciona en la atmósfera para transformarse en ácido sulfúrico, causante de la lluvia ácida, y también de las partículas suspendidas, causantes de daños a la salud. Las energías renovables permiten desplazar el consumo de combustibles fósiles y por ende reducir estos impactos.⁵¹

Las energías renovables pueden contribuir a la protección de bosques y selvas

El aprovechamiento de las energías renovables puede, en algunos casos, aumentar el valor económico que proporcionan las selvas y otras zonas ricas en biodiversidad, y puede por ende aumentar el interés de las poblaciones locales, dueños y poseedores del bosque por su conservación; al incrementar la generación de empleo local y la renta forestal. Esto sucede en particular para el caso de dos tecnologías: los sistemas hidroeléctricos (para cuyo adecuado funcionamiento es necesario asegurar la conservación de la vegetación y de los suelos en las cuencas) y la bioenergía. Existen distintas experiencias positivas en el Mundo de cómo los sistemas energéticos pueden contribuir a la conservación de áreas relevantes por su valor ambiental.⁵²

⁵⁰ ENACC, 2007 (tinyurl.com/3nkhly).

⁵¹ De acuerdo con un estudio (CEPAL y SEMARNAT, 2004; tinyurl.com/MEXL644), los impactos en salud de las principales centrales termoeléctricas de México son de 465 millones de dólares anuales. Véase también Bickel y Friedrich, 2005 (tinyurl.com/ExternE).

⁵² Ver en CMR, 2000 (tinyurl.com/wcdesp) ejemplos de cómo se pueden planear, construir y operar las centrales hidroeléctricas minimizando los impactos ambientales negativos y maximizando los impactos positivos. Para un ejemplo de impactos positivos de un sistema de bioenergía basado en la producción forestal sustentable, ver Peryn et al., 2008.

BENEFICIOS Y PARTICULARIDADES

3.2 Las particularidades de las energías renovables

Además de los beneficios antes enumerados, las fuentes renovables de energía y las tecnologías para su aprovechamiento tienen una serie de particularidades que las hacen intrínsecamente distintas de las fuentes y tecnologías convencionales de energía.

3.2.1 Dispersión territorial y pequeña escala

Con la excepción de tecnologías como la hidráulica y la geotérmica, que permiten obtener en un solo sitio cantidades significativas de energía, las energías renovables están por lo general dispersas en el territorio, lo que quiere decir que es necesario un mayor territorio para obtener una determinada cantidad de energía, en comparación con las tecnologías convencionales. Por lo mismo, los proyectos de energías renovables suelen ser de una escala menor que los proyectos convencionales de energía. Esta característica de los proyectos de energías renovables se convierte en un obstáculo para su desarrollo cuando las reglas de funcionamiento de los sistemas energéticos han sido concebidas para tecnologías de gran escala.

3.2.2 Variabilidad en el tiempo

Muchas de las tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables dependen de procesos naturales variables, lo que hace que en algunos casos su disponibilidad no sea predecible o controlable. Esta particularidad de las energías renovables es especialmente relevante para el caso de la generación de electricidad. En efecto, en los sistemas eléctricos, es necesario que la generación de electricidad sea suficiente para satisfacer la demanda a cada instante (esto se debe en parte a que las baterías y otras tecnologías para el almacenamiento de electricidad son todavía demasiado caras para aplicarse a gran escala). Muchas de las tecnologías convencionales de generación de electricidad, que pueden arrancarse y detenerse en el momento requerido, permiten actualmente a los sistemas eléctricos contar con la capacidad requerida para poder enfrentar la demanda, principalmente en las horas pico. En cambio, muchas de las tecnologías basadas en energías renovables (en particular la energía eólica y la solar) dependen de la disponibilidad de una fuente de energía que no se puede controlar.

Esta característica *no controlable* de estas fuentes de energía ha sido uno de los obstáculos para su mayor participación en la generación de electricidad. Se argumenta a veces que una central basada en una fuente “intermitente” puede sustituir el uso de combustibles, pero no puede aportar capacidad a la red eléctrica, lo que quiere decir que se requiere que haya una central convencional lista para entrar en operación cuando el recurso intermitente no esté disponible. Sin embargo, en años recientes se han desarrollado nuevos criterios para la planeación y operación de los sistemas eléctricos, que muestran que las tecnologías intermitentes o variables sí pueden aportar capacidad a los sistemas eléctricos.

El porcentaje máximo de participación de las fuentes de tipo variable en un sistema eléctrico depende de la flexibilidad de éste, y existen diversos mecanismos para aumentar esta flexibilidad, tales como: (i) interconexiones más fuertes con sistemas eléctricos vecinos; (ii) una mayor capacidad hidroeléctrica y de biomasa para aumentar la flexibilidad del sistema; (iii) nuevas tecnologías de generación y de control de redes, y (iv) un mayor control de la demanda (por ejemplo contratos interrumpibles o tarifas de tiempo real).⁵³

3.2.3 Mayor inversión inicial

Los costos de inversión de las energías renovables por MW son más altos que para las tecnologías convencionales, mientras que sus costos de operación son más bajos (véanse los costos típicos de las principales tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, así como otros datos, en el cuadro 3). Esta particularidad se convierte en una barrera más para el desarrollo de las energías renovables, sobre todo en un contexto de escasez de financiamiento para inversiones.

⁵³ El proyecto Kombikraftwerk de Alemania busca evaluar la factibilidad de un suministro de 100% de la electricidad que se consume en ese país por medio de energías renovables. Kombikraftwerk, 2009 (www.kombikraftwerk.de), IEA, 2008b (tinyurl.com/VarRen).

Cuadro 3. Estado actual, potencial y costos de energías renovables y no renovables

Aplicaciones	Fuentes/ tecnologías	Situación en México		Referencia internacional	
		Producción de energía en México [GW promedio] ^[1]	Potencial técnico-económico [GW promedio] ^[1]	Costo de la energía [US\$/GJ]	Costo de inversión [US\$/kW]
Electricidad	Gas natural	13.9 ^[2]	-	\$7.0-19.4 ^[3]	\$898 ^[3,5]
	Carboeléctrica	4.0 ^[2,6]	-	\$6.5-7.3 ^[3]	\$2,069 ^[3,7]
	Diesel y combustóleo	5.8 ^[2]	-	\$11.3-15.6 ^[3]	\$2,483 ^[3,8]
	Eoloeléctrica terrestre	0.066 ^[2,9]	3 ^[10]	\$15-20 ^[11]	\$1,700 ^[4]
	Eoloeléctrica marina	0	_ ^[12]	\$20-35 ^[11]	\$2,700 ^[13]
	Solar fotovoltaica fuera de red	0.000001 ^[14]	0.02 ^[15]	\$110-170 ^[11]	\$16,000 ^[16]
	Solar fotovoltaica en red	0	0.09 ^[17]	\$80-140 ^[11]	\$8,000 ^[4]
	Concentración solar	0	_ ^[12]	\$30-50 ^[11]	\$2,200 ^[18]
	Grandes hidroeléctricas (>10 MW)	3.0 ^[2]	39 ^[19]	\$8-11 ^[11]	\$2,100 ^[18]
	Pequeñas hidroeléctricas (<10 MW)	0.16 ^[2]	3 ^[20]	\$10-20 ^[11]	\$2,300 ^[18]
	Bioenergía	0.09 ^[2,21]	10 ^[22]	\$15-30 ^[11,23]	\$1,550 ^[18,23]
	Geotermoeléctrica	0.85 ^[2]	10 ^[24]	\$10-20 ^[11]	\$3,800 ^[18,25]
Calor	Caldera industrial	9.4 ^[14,26]	-	\$8.5 ^[27]	\$140 ^[27]
	Calentador de agua	3.9 ^[14,28,29]	-	\$24 ^[29,30]	\$10 ^[31]
	Calentadores solares de agua	0.14 ^[14]	3.2 ^[32]	\$3-50 ^[11]	\$630 ^[33]
	Bioenergía moderna	_ ^[34]	4.7 ^[35]	\$2-7 ^[27]	\$530 ^[27]
	Geotermia	_ ^[36]	_ ^[37]	\$1.5-5 ^[11]	\$200 ^[38]
Combustibles líquidos para el transporte	Gasolina	44 ^[14,39]	-	\$17 ^[30]	_ ^[40]
	Diesel	18 ^[14,39]	-	\$14 ^[30]	_ ^[40]
	Bioetanol	-	3 ^[42]	\$7.5-9 ^[11,43]	\$580 ^[33]
	Biodiesel	0.005 ^[44]	0.7 ^[42]	\$11-22 ^[11]	\$300 ^[33]

Notas:

^[1] La producción anual de energía se mide aquí por medio de la unidad "GW promedio". Cada GW promedio de energía eléctrica o térmica equivale a 8760 GWh ó 31.5 PJ al año; cada GW promedio de bioetanol equivale a 1.49 millones de m³ al año; cada GW promedio de biodiesel equivale a 0.90 millones de m³ al año.

^[2] Valores estimados a partir de cifras de la Prospectiva del Sector Eléctrico y de la Comisión Reguladora de Energía.

^[3] Comisión Federal de Electricidad, Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico 2008.

^[4] Banco Mundial, 2008 (tinyurl.com/draftdoc1), cifras promedio.

^[5] Ciclo combinado.

^[6] Incluye coque.

^[7] Tecnología supercrítica.

^[8] Combustión interna y diesel.

^[9] Incluye nuevas granjas eólicas inauguradas en enero del 2009.

^[10] Con base en un potencial de 10.000 MW y un factor de planta promedio de 30%.

^[11] REN21, 2008 (tinyurl.com/gsr2007).

^[12] Tecnologías con costos todavía muy altos para ser financieramente viables.

^[13] Aproximación basada en REN21, 2008 y Banco Mundial, 2008.

^[14] Balance Nacional de Energía 2007 (tinyurl.com/BNE2007).

- [15] Supone 3% de población sin electrificar, 5 personas por vivienda; 80% de sistemas fotovoltaicos (y el 20% restante por otras tecnologías); sistemas de 120 W pico; 7 horas por día.
- [16] Supone US\$2,000 para el sistema descrito en la nota anterior.
- [17] Supone un factor de planta promedio de 15% y un potencial de casi 700 MW; CONUEE/ GTZ, 2009 (tinyurl.com/NichosFV).
- [18] Banco Mundial, 2006 (tinyurl.com/wb2006), cifras para 2010.
- [19] Estudios de la CFE.
- [20] Mulás et al., 2005 (tinyurl.com/psuerm).
- [21] Incluye biogás (Monterrey), ingenios azucareros y licor negro en la industria papelera.
- [22] Islas et al., 2007 (tinyurl.com/apsobuim).
- [23] Tecnología de pellets y turbina de vapor.
- [24] Alonso (1985).
- [25] Tecnología binaria.
- [26] Supone que el 70% del consumo de combustibles en la industria (excluyendo autoabastecimiento y cogeneración) se destina a calderas, y que éstas tienen una eficiencia del 80%.
- [27] RETScreen International, 2006 (tinyurl.com/APCbiomasa).
- [28] Supone que el 50% del consumo de combustibles en los sectores residencial, comercial y de servicios se destina a calentadores de agua.
- [29] Supone una eficiencia del calentador de agua de 60%.
- [30] Considera el costo de los combustibles a precios vigentes en México en abril del 2009.
- [31] Supone un calentador de US\$90, que permite calentar, en 25°C, 5 litros por minuto de agua.
- [32] Suponiendo que la mitad de la demanda energética para calentamiento de líquidos a baja temperatura se satisfaga por calentamiento solar.
- [33] Johnson et al., 2009 (en prensa).
- [34] No existe información.
- [35] Supone que el 50% de las calderas industriales se podrían alimentar por biomasa; el potencial dendroenergético para satisfacer esta necesidad existe, de acuerdo con Masera et al., 2006b (tinyurl.com/biocds).
- [36] La utilización del calor geotérmico en usos tales como balnearios, calefacción de edificios, secado de madera, invernaderos y cultivo de hongos no se ha cuantificado.
- [37] La geotermia podría satisfacer una parte significativa de las necesidades térmicas industriales en regiones específicas del país, pero el potencial no se ha evaluado.
- [38] IEA, 2007 (tinyurl.com/IEArhc).
- [39] Los datos para gasolina y diesel corresponden al consumo nacional para transporte.
- [40] No se incluye aquí el costo de inversión requerido para aumentar la producción de petróleo y la capacidad de refinación.
- [41] México produce actualmente bioetanol, pero no como combustible.
- [42] Masera et al., 2006 (tinyurl.com/pvubbtm).
- [43] Costos para bioetanol de caña de azúcar. [44] Masera et al., 2006b (tinyurl.com/biocds).

4 Estrategias de fomento y promoción

4.1 Las políticas para las energías renovables en el Mundo

4.1.1 El triple objetivo de las políticas

Las políticas para la promoción de las energías renovables en el Mundo buscan un triple propósito: En primer lugar, buscan reconocer y valorar los beneficios de las energías renovables. Muchos de estos beneficios no son actualmente valorados, y en ese sentido se pueden considerar *externalidades que deben ser internalizadas*.⁵⁴

En segundo lugar, las políticas buscan adaptar los sistemas y mercados energéticos a las particularidades de las energías renovables. Los sistemas y mercados de energía actuales fueron diseñados para funcionar con energías no renovables. Se requieren instrumentos específicos de política pública para adaptarlos a las características de las energías renovables.

En tercer y último lugar, las políticas tienen el objetivo de fomentar el flujo de información. La falta de información sobre los potenciales, sobre las características de las tecnologías, sobre sus costos y beneficios a la sociedad, etcétera, aumenta los riesgos percibidos y, por lo tanto, los costos de las energías renovables. Un mayor acceso a la información permite reducir los riesgos y costos.

4.1.2 Las características de las políticas

De los tres propósitos antes enumerados se desprenden las características que deben tener las políticas para el fomento de las energías renovables:

- Las políticas deben permitir la participación de actores de pequeña escala en los mercados energéticos. Debido a la dispersión geográfica de las fuentes de energía, los proyectos de energías renovables son, en la mayoría de los casos, de escala menor que los proyectos de tecnologías convencionales.
- En virtud de lo anterior, así como de los altos costos de inversión requeridos, es necesaria la participación de actores privados (individuos y empresas) en el financiamiento, la ejecución y la operación de los proyectos de energías renovables. Asimismo, muchos de estos proyectos están ligados a otros procesos productivos y otros usos del territorio, por lo que las políticas deben permitir la participación de los actores involucrados.

⁵⁴ Las externalidades son impactos positivos o negativos que genera la provisión de un bien o servicio y que afectan a una tercera persona. Las externalidades ocurren cuando los costos o beneficios privados a los productores o compradores de un bien o servicio son diferentes de los costos o beneficios sociales totales que involucran su producción y consumo.

- Debido a los altos costos de inversión requeridos, es particularmente importante que las políticas ofrezcan una certidumbre de largo plazo y garanticen procedimientos administrativos sencillos y transparentes, para así reducir los riesgos (y por lo tanto los costos) del desarrollo de proyectos.
- La dimensión territorial de los proyectos de energías renovables implica por su parte la necesidad de que la certidumbre y la simplificación administrativa se dé también en el plano de los instrumentos de política relacionados con el ordenamiento del territorio, a nivel federal, estatal y municipal.
- Las políticas públicas deben establecer mecanismos que permitan valorar los distintos beneficios de las energías renovables. Para ello, la experiencia internacional muestra la necesidad de establecer mecanismos de incentivos financieros. Entre los distintos mecanismos utilizados en el Mundo, los más efectivos han sido los sistemas de precios predefinidos por kWh, gracias a que crean una certidumbre que permite reducir al mínimo los riesgos de los proyectos, sobre todo aquéllos de pequeña escala.⁵⁵
- Para el caso de los sistemas eléctricos, las políticas deben establecer procedimientos para ajustar la planeación y operación de dichos sistemas a nuevos patrones de generación más distribuida y a tecnologías variables de generación.

4.2 Marco legal, regulatorio y normativo en México

4.2.1 Constitución

El aprovechamiento de las energías renovables se sustenta en varios artículos constitucionales,⁵⁶ entre los cuales hay que resaltar los siguientes:

- El artículo 4º, que establece el derecho a un medio ambiente adecuado.
- El artículo 25, que señala que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional, para garantizar que éste sea integral y sustentable y que fortalezca la Soberanía de la Nación.
- El artículo 27, que en su tercer párrafo otorga a la Nación el derecho de regular, en beneficio social, “el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación [incluyendo los energéticos no renovables], con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.”
- El artículo 28, que establece la necesidad de asegurar la eficacia de la prestación de los servicios y la utilización social de los bienes.

⁵⁵ Los sistemas de tarifas predefinidas se conocen como feed-in tariff systems. Ver International Feed-in Cooperation, 2009 (www.feed-in-cooperation.org); Bode y Groscurth, 2008 (tinyurl.com/5jye5u); REN21, 2008 (tinyurl.com/gsr2007); IEA, 2008a (tinyurl.com/acq8ok).

⁵⁶ Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (tinyurl.com/cpdleum).

4.2.2 Tratados internacionales

Nuestro país es signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Si bien no se encuentra dentro del grupo de países con compromisos específicos de mitigación, sí debe “formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático [...]”.⁵⁷

4.2.3 La Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y su reglamento

El 28 de noviembre del 2008 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.⁵⁸ La LAERFTE busca regular el aprovechamiento de las energías renovables para la generación de electricidad “con fines distintos a la prestación del servicio público”, y plantea esencialmente lo siguiente:

- La Secretaría de Energía (SENER) elaborará el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables el cual fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 06 de agosto del 2009 y evaluará los beneficios económicos netos potenciales del aprovechamiento de las energías renovables (artículo 12). Estos beneficios serán considerados en la evaluación económica de los proyectos de energías renovables que realicen las empresas públicas (artículo 13).
- La SENER elaborará un Inventario Nacional de las Energías Renovables (artículo 6°, fracción VI).
- La SENER, con la opinión de la SHCP, de la SEMARNAT y de la SSA, elaborará una metodología para valorar las externalidades asociadas con la generación de electricidad, basada en energías renovables (artículo 10).
- La Comisión Reguladora de Energía (CRE) expedirá las normas, directivas, metodologías y demás disposiciones de carácter administrativo que regulen la generación de electricidad a partir de energías renovables (artículo 7°, fracción I).
- La CRE definirá los pagos que harán las empresas públicas a los generadores privados, previa opinión de la SHCP y de la SENER (artículo 7°, fracción II).
- La CRE expedirá las metodologías para determinar la aportación de capacidad de las tecnologías de energías renovables (artículo 7°, fracción V).
- Los pagos de las empresas públicas a los generadores privados deberán incluir capacidad y energía, y podrán depender de la tecnología y de la ubicación geográfica de los proyectos (artículo 14).

⁵⁷ CMNUCC, 1992 (tinyurl.com/cmnucc). Artículo 4°, fracción I, inciso “b”.

⁵⁸ LAERFTE, 2008 (tinyurl.com/laerfte).

El Reglamento correspondiente, que se publicó en el Diario Oficial el día 02 de Septiembre del 2009, ⁵⁹ desarrolla la LAERFTE de la siguiente manera:

- La Secretaría considerará para la determinación de beneficios económicos de la generación renovable, además de las externalidades y del aporte de capacidad, los riesgos y costos de los distintos portafolios energéticos y los beneficios de los mercados de carbono.
- La Secretaría realizará una prospectiva de energías renovables, que servirá de guía para la elaboración del Programa y que se sumará a las otras prospectivas que ya realiza.
- La generación de electricidad se realizará por medio tanto de proyectos licitados como de proyectos fuera de convocatoria. En ambos casos los proyectos deberán responder a las metas establecidas en el Programa, y los pagos serán definidos por la CRE.

4.2.4 La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos,⁶⁰ publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1° de febrero del 2008, contempla, entre otros puntos, los siguientes:

- La creación de una Comisión Intersecretarial de Bioenergéticos, integrada por representantes de SENER, SAGARPA, SEMARNAT, SE y SHCP.
- La ejecución por parte de la SAGARPA de un Programa de producción sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico, con el fin de crear condiciones propicias para la producción de bioenergéticos en México (principalmente bioetanol y biodiesel).
- La ejecución por parte de la SENER de un Programa de Introducción de Bioenergéticos, para implementar en el sector energía los cambios necesarios para la mezcla de biocombustibles con combustibles de origen fósil.

4.2.5 La Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE)

La Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía⁶¹ transforma a la CONAE en CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) y establece la ejecución de un Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. La LASE está dirigida principalmente a la eficiencia energética pero incluye el aprovechamiento de las energías renovables para aplicaciones térmicas.

⁵⁹ RLAERFTE, DOF, 2 de Septiembre de 2009 (tinyurl.com/RLAERFTE)

⁶⁰ LPDB, 2008 (tinyurl.com/ldpyddlb). El Reglamento correspondiente se publicó el 18 de junio del 2009: RLPDB, 2009 (tinyurl.com/rldpyddlb).

⁶¹ LASE, 2008 (tinyurl.com/LApSuEn).

4.2.6 Instrumentos regulatorios para el sector eléctrico

La Comisión Reguladora de Energía ha expedido tres resoluciones relacionadas con proyectos de aprovechamiento de energías renovables para la generación de electricidad.

Contrato de interconexión para fuente de energía renovable de tipo intermitente (CIEI)

Este contrato⁶² se aplica a proyectos de autoabastecimiento remotos que utilizan fuentes renovables intermitentes, es decir, eólica, solar e hidroeléctrica (esta última sólo en los casos en los que no se puede controlar el flujo de agua). Los proyectos remotos son aquellos en los que el punto de generación está ubicado en un sitio distinto de los puntos de consumo, por lo que se recurre a la red de transmisión para realizar el porteo de energía entre los distintos sitios. El contrato establece en términos generales lo siguiente:

- El pago por los servicios de transmisión será en función de la capacidad y energía realmente transmitida, en vez de la potencia reservada.
- La red eléctrica fungirá el papel de banco de energía para compensar, dentro de los mismos y diferentes periodos horarios, los sobrantes y faltantes de energía. La energía que sobre de un periodo horario se podrá intercambiar a otro periodo horario de acuerdo con las tarifas eléctricas.
- Para efecto de calcular el cargo por demanda de los puntos consumidores, se reconoce como capacidad aportada al sistema el promedio mensual de la energía entregada durante las horas de mayor demanda en los días hábiles del mes.
- Gracias a ese contrato favorable para los proyectos de autoabastecimiento, están actualmente en proceso de diseño o de construcción varios proyectos hidroeléctricos y eolieléctricos en el país.

Contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala

Este contrato⁶³ permite a casas habitación y comercios pequeños conectados a la red eléctrica generar su propia energía eléctrica aprovechando la energía solar, bajo la modalidad de medición neta, o *net metering*. En caso de haber en algún momento excedentes de electricidad, el particular puede intercambiar energía con la empresa eléctrica, compensándola contra el consumo en otros momentos.

⁶² Contrato de interconexión para fuente de energía renovable, 2007 (tinyurl.com/res140).

⁶³ Contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala, 2007 (tinyurl.com/solarpeq).

Modelo de contrato de compromiso de compraventa de energía eléctrica para pequeño productor en el Sistema Interconectado Nacional

Este contrato⁶⁴ se aplica a cualquier proyecto de pequeña producción (proyectos que generen electricidad exclusivamente para su venta a la red eléctrica y con una capacidad menor de 30 MW), y ofrece a aquéllos que utilizan energías renovables un beneficio en los pagos.⁶⁵

4.2.7 Normas y especificaciones técnicas

Las normas, tanto de carácter obligatorio (NOM) como voluntario (NMX), son un ingrediente fundamental para facilitar el desarrollo de las energías renovables, pues facilitan la toma de decisiones para consumidores, productores y para el gobierno en sus distintos niveles. En la actualidad existen o están en desarrollo las siguientes normas relacionadas con las energías renovables:

- La Norma Oficial Mexicana para la construcción, operación y abandono de instalaciones eolieléctricas en zonas agrícolas, ganaderas y rurales, que está desarrollando la SEMARNAT (véase capítulo 2).
- Las normas voluntarias para métodos de prueba y etiquetado y requerimientos mínimos para la instalación de calentadores solares de agua, entre otras, desarrolladas por el Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar, “NESO 13” (véase capítulo 2).
- La Norma Técnica de Competencia Laboral para la instalación de sistemas de calentamiento solar de agua, desarrollada por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (véase capítulo 2).
- La Norma ambiental para el Distrito Federal que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas y otras aplicaciones (véase capítulo 2).

⁶⁴ Contrato de compromiso de compraventa de energía eléctrica para pequeño productor en el Sistema Interconectado Nacional, 2008 (tinyurl.com/ContPeq).

⁶⁵ La electricidad se compra normalmente al 85% del costo total de corto plazo cuando no hay notificación previa, o bien al 95% con notificación previa. Para el caso de energías renovables, estos porcentajes suben a 95% y 98% respectivamente.

Especificaciones técnicas de interconexión a la red eléctrica

Requerimientos para interconexión de aerogeneradores (Código de Red): Este documento establece los términos y las condiciones para la interconexión de aerogeneradores al Sistema Eléctrico Nacional (vigencia a partir del 01 de julio del 2008), así como los requerimientos para las instalaciones conectadas a 115 kV y mayores. (contacto: Ing. Eduardo Meraz: eduardo.meraz@cfe.gob.mx)

Especificación de interconexión en baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kw (GO 100-04): Esta especificación tiene como objetivo definir los requerimientos para el diseño, instalación, inspección, autorización y utilización de sistemas fotovoltaicos interconectados con la red eléctrica, así como garantizar la calidad de la energía en la red y la integridad física y operacional, tanto del personal de la CFE y de los usuarios, como de los propios sistemas fotovoltaicos. Su campo de aplicación incluye la interconexión de la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30kWp, los cuales pueden estar instalados en viviendas individuales, inmuebles comerciales, escuelas y edificios públicos, incluyendo únicamente aquellos que utilizan inversores estáticos de estado sólido, para conversión de corriente directa o corriente alterna. (contacto: Interesados deben acudir a la oficina de atención a clientes de CFE más cercana; http://201.144.12.130/normas/qbe_normas.asp)

4.2.8 Gestiones para la realización de proyectos

La realización de proyectos para el aprovechamiento de las energías renovables requiere de distintas gestiones ante las autoridades municipales, estatales y federales. Este proceso es más complejo para el caso de los proyectos de generación de electricidad. Con el fin de dar una orientación a los desarrolladores de proyectos, la entonces CONAE, con la colaboración del IIE y el PNUD, elaboró una *Guía de gestiones para implementar en México plantas de generación eléctrica que utilicen energías renovables*.⁶⁶ La guía se encuentra disponible también en línea en el sitio www.layerlin.com. A pesar de que la guía no se ha actualizado, gran parte de su contenido sigue vigente.

4.3 Instrumentos de política pública

A continuación se describen los principales instrumentos de política para la promoción de las energías renovables en México (para una descripción de los actores institucionales involucrados, véase el Anexo).

⁶⁶ CONAE, 2006 (tinyurl.com/GuiaER).

4.3.1 El Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Sectorial de Energía

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012⁶⁷ establece al Desarrollo Humano Sustentable como su principio rector. El PND retoma los postulados del Informe Mundial sobre Desarrollo Humano 1994 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de acuerdo con los cuales “el propósito del desarrollo consiste en crear una atmósfera en que todos puedan aumentar su capacidad y las oportunidades puedan ampliarse para las generaciones presentes y futuras”. Se hace referencia a las energías renovables en dos de los ejes del PND, es decir, el eje 2 “economía competitiva y generadora de empleos”, y el eje 4 “sustentabilidad ambiental”. Esta duplicidad refleja el hecho de que las estrategias para el aprovechamiento de estas fuentes permiten lograr ambos objetivos.

Las energías renovables en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

Eje 2: Economía competitiva y generadora de empleos.

Objetivo 15. Asegurar un suministro confiable, de calidad y a precios competitivos de los insumos energéticos que demandan los consumidores.

- Estrategia 15.11. Ampliar la cobertura del servicio eléctrico en comunidades remotas utilizando energías renovables en aquellos casos en que no sea técnica o económicamente factible la conexión a la red.
- Estrategia 15.12. Diversificar las fuentes primarias de generación.
- Estrategia 15.14. Fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles, generando un marco jurídico que establezca las facultades del Estado para orientar sus vertientes y promoviendo inversiones que impulsen el potencial que tiene el país en la materia.
- Estrategia 15.16. Aprovechar las actividades de investigación del sector energético, fortaleciendo a los institutos de investigación del sector, orientando sus programas, entre otros, hacia el desarrollo de las fuentes renovables y eficiencia energética.
- Estrategia 15.17. Fortalecer las atribuciones de instituciones de regulación del sector.

Eje 4. Sustentabilidad ambiental.

Objetivo 10. Reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

- Estrategia 10.1. Impulsar la eficiencia y tecnologías limpias (incluyendo la energía renovable) para la generación de energía.

⁶⁷ Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (pnd.presidencia.gob.mx).

En congruencia con estos objetivos y estrategias plasmados en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, el Programa Sectorial de Energía 2007-2012⁶⁸ plantea, entre sus nueve objetivos, los siguientes tres:

- Objetivo II.2. Equilibrar el portafolio de fuentes primarias de energía.
- Objetivo III.2. Fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles técnica, económica, ambiental y socialmente viables.
- Objetivo IV.1. Mitigar el incremento en las emisiones de Gases Efecto Invernadero.

4.3.2 Instrumentos económicos y financieros

Dentro del conjunto de instrumentos de política existentes en México para la promoción de las energías renovables, existe uno de carácter financiero: la depreciación acelerada para inversiones en energías renovables, establecida en 2005, que permite depreciar el 100% de las inversiones “para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables”.⁶⁹ La depreciación sólo se podrá efectuar cuando haya impuesto sobre la renta a cargo. Es decir, si la depreciación es mayor que el impuesto, el contribuyente seguirá depreciando la inversión en los años siguientes. Con el fin de impedir que este mecanismo favorezca las inversiones en tecnologías de baja calidad, se establece que “lo dispuesto en esta fracción será aplicable siempre que la maquinaria y equipo se encuentren en operación o funcionamiento durante un periodo mínimo de 5 años inmediatos siguientes al ejercicio en el que se efectúe la deducción”.

4.3.3 Instrumentos de apoyo a la investigación y desarrollo tecnológico

El Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética tiene como objetivo el “impulsar la investigación científica y tecnológica aplicada, así como la adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico en materia de fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias, y diversificación de fuentes primarias de energía”. Los recursos para dicho Fondo provendrán de un derecho equivalente al 0.13% del valor del petróleo crudo y gas natural extraídos por PEMEX.⁷⁰

⁶⁸ PROSENER (tinyurl.com/prosener).

⁶⁹ Ley del Impuesto sobre la Renta, artículo 40, fracción XII (LISR, 2008; tinyurl.com/LISR2008).

⁷⁰ Ley Federal de Derechos, artículo 254 bis, fracción IV (LFD, 2008; tinyurl.com/LFD2008). Véase también CONACYT, 2009 (tinyurl.com/FSCSESE).

4.3.4 Programas de cooperación internacional

La cooperación internacional es uno de los elementos de la política del Gobierno Federal en materia de promoción de las energías renovables. En este ámbito cabe mencionar:

- La ratificación por parte de México de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y de su Protocolo de Kioto.
- La participación de México en conferencias internacionales sobre energías renovables: Berlín 2004, Pekín 2006 y Washington 2008.
- La cooperación con instituciones financieras multilaterales: El Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo.
- La cooperación con agencias bilaterales; en particular, la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (agencia de cooperación técnica alemana), y la embajada británica.

El Programa Energía Sustentable en México de la Cooperación Técnica Alemana:

Desde el 2005 la GTZ (cooperación técnica alemana) está implementando actividades de cooperación técnica en el sector energía en México. Actualmente, se ejecuta el Programa Energía Sustentable en México por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). El Programa tiene como objetivo contribuir a mejorar las condiciones marco para aumentar la eficiencia energética y el uso de fuentes renovables de energía en México. Para lograr este objetivo hay una cooperación estrecha entre la GTZ y actores tanto del sector público (principalmente la SENER, CRE, CONUEE, y CFE); como del sector privado. El Programa se enfoca, principalmente, en tres líneas de acción:

- Asesoría para mejorar el marco regulatorio y normativo.
- Asesoría en el desarrollo e implementación de programas de promoción y difusión.
- Capacitación y desarrollo organizacional en los sectores público y privado

(www.tinyurl.com/PES-GTZ-eng; contacto: andre.eckermann@gtz.de)

4.3.5 Resumen de políticas, programas y proyectos

El siguiente cuadro resume las distintas políticas, programas y proyectos relacionados con las energías renovables y ejecutados por el Gobierno Federal.

Política/ programa/ proyecto	Instituciones	Tecnologías	Vínculo
Programa Sectorial de Energía	SENER	Todas	tinyurl.com/prosener
Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables	SENER	Todas	tinyurl.com/PRenovables
Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala	SENER, GEF, BM,	Eólica	tinyurl.com/36733h
Proyecto de Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en el Sureste de México	SENER, GEF, BM	Solar, hidráulica, eólica, bioenergía	tinyurl.com/SIE
Proyecto térmico solar Agua Prieta II	SENER, GEF, BM	Concentración solar	tinyurl.com/AguaPrieta
Programa Energía Sustentable en México	SENER, CONUEE, CRE, CFE, GTZ	Todas	tinyurl.com/PES-GTZ-eng
Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México	CONUEE, GTZ, ANES	Calentamiento solar de agua	www.procalсол.gov.mx
Anteproyecto de Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico	SAGARPA	Biocombustibles	tinyurl.com/ppsibio
Ante proyecto de Programa de Introducción de Bioenergéticos	SENER	Biocombustibles	tinyurl.com/pibioen
Programa de sustitución de fogones abiertos por fogones ecológicos	SEDESOL	Estufas de leña	tinyurl.com/pdzprior
Proyecto de Desarrollo Rural Sustentable para el Fomento de las Fuentes Alternas de Energía en los Agronegocios, que Promuevan la Eficiencia Energética en el Sector Agropecuario	FIRCO	Solar fotovoltaica, calentamiento solar, eólica, biodigestores	tinyurl.com/fae2009
Depreciación acelerada	SHCP	Todas	tinyurl.com/LISR2008
Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía	SENER	Todas	
Metodología para Valorar Externalidades Asociadas con la Generación de Electricidad en México	SENER	Todas	tinyurl.com/MetExtern
Políticas y Medidas para Fomentar la Integración Nacional de Equipos y Componentes para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Uso Sustentable de la Energía	SENER	Todas	tinyurl.com/IntNalER
Políticas y Medidas para Facilitar el Flujo de Recursos Derivados de los Mecanismos Internacionales de Financiamiento	SENER	Todas	tinyurl.com/MecFinanc

4.4 Escenarios a futuro

Se han realizado diversos estudios para proponer escenarios posibles, de largo plazo, para el desarrollo de las energías renovables en México. Entre ellos cabe mencionar los siguientes:

- El estudio “Prospectiva sobre la utilización de las energías renovables en México. Una visión al año 2030”, coordinado por el Dr. Pablo Mulás y realizado para la Secretaría de Energía en el año 2005.⁷¹
- El documento “México: Estudio para la Disminución de Emisiones de Carbono”, elaborado por el Banco Mundial, en coordinación con el Gobierno Federal. El objetivo de este estudio es evaluar el potencial para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en México en el transcurso de las próximas décadas. Se evaluaron intervenciones en distintos sectores, incluyendo el aprovechamiento de las energías renovables, utilizando una metodología común y, con base en estas intervenciones, se desarrolló un escenario de bajo carbono al año 2030.⁷²
- El estudio “Low-Carbon Growth. A Potential Path for Mexico” realizado por la empresa de consultoría McKinsey, en colaboración con el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C.⁷³
- El documento “Revolución energética: Una perspectiva de energía sustentable para México”, realizado por Greenpeace, y que propone un escenario en el cual las emisiones nacionales de CO2 se estabilizan para el año 2030, para posteriormente reducirlas en 60% para el año 2050, a través del uso de energías renovables y eficiencia energética.⁷⁴

⁷¹ Mulás et al., 2005 (tinyurl.com/psuerm).

⁷² Johnson et al., 2009 (en prensa).

⁷³ McKinsey y CMM, 2009.

⁷⁴ Greenpeace, 2008 (tinyurl.com/GPrevene).

5 Conclusiones

Nuestro país se encuentra hoy en día en un contexto normativo, institucional y programático mucho más favorable que hace unos años para poder aprovechar los múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales de las energías renovables. En particular, contamos hoy en día con la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, que establece claramente la obligación para la Secretaría de Energía de evaluar los beneficios económicos netos que representa el aprovechamiento de estas fuentes de energía. Las energías renovables ocupan además un lugar muy importante en el Plan Nacional de Desarrollo.

La generación de electricidad es sin duda la aplicación de las energías renovables que tiene un mayor potencial para México. Actualmente se están desarrollando un gran número de proyectos de este tipo en la modalidad de autoabastecimiento. El reto es ahora encontrar mecanismos para multiplicar los proyectos de generación para la entrega de electricidad a las empresas públicas. De este modo podremos hacer que el servicio público de energía eléctrica reciba los beneficios de las energías renovables, principalmente en términos de reducción de riesgos económicos.

Para ello es necesario diseñar mecanismos de política pública que permitan cumplir cabalmente con el triple objetivo de reconocer y valorar los beneficios, adaptar los sistemas y mercados energéticos, y fomentar el flujo de información. Es en particular necesario que la valoración de los beneficios se traduzca en instrumentos financieros.

Debido a la falta de información adecuada sobre los potenciales de las energías renovables, así como sobre sus costos y sus beneficios directos e indirectos, la política pública debe considerar asimismo la realización de estudios para cubrir estas lagunas.

México enfrenta ahora el reto de diseñar instrumentos de política que permitan incentivar el desarrollo de las energías renovables, en particular en aquellos casos en los que los costos sean menores de los beneficios netos para el país en el largo plazo. Para construir un sistema de este tipo se requerirá de la colaboración del Poder Ejecutivo y Legislativo, de los distintos niveles de gobierno, de la iniciativa privada y de la población en general.

Directorio

Poder Ejecutivo Federal

Secretaría de Energía (SENER)

(Encargada de conducir la política energética incluyendo a las energías renovables)

Ing. Julio Alberto Valle Pereña

Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente

(55) 5000 6047

jvalle@energia.gob.mx

www.sener.gob.mx

Comisión Reguladora de Energía (CRE)

(Encargada de regular a la industria eléctrica, incluyendo permisos, modelos de contrato y metodologías para el cálculo de pagos a generadores privados)

Dr. Alejandro Peraza García

Director General de Electricidad

(55) 5283 1520

aperaza@cre.gob.mx

www.cre.gob.mx

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)

(Encargada de promover la eficiencia energética y el aprovechamiento de las energías renovables)

Dr. Gaudencio Ramos Niembro

Coordinador de Oferta Eléctrica, Procesos Térmicos y Transporte

(55) 3000 1000, ext. 1234

gframos@conuee.gob.mx

www.conuee.gob.mx

Comisión Federal de Electricidad (CFE)

(Empresa pública a cargo del 65% de la capacidad de generación y el 82% de los usuarios)

Ing. Raúl Maya González

Subgerente de Proyectos en la Gerencia de Encargado de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos

(443) 322 7002

raul.maya@cfe.gob.mx

www.cfe.gob.mx

Luz y Fuerza del Centro (LyFC)

(Empresa pública a cargo del 2% de la capacidad de generación y 18% de los usuarios)

Lic. Jorge García Cantú

Secretario Particular de la Dirección General

(55) 5140 0411

jorge.garcia@lfc.gob.mx

www.lfc.gob.mx

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

(Encargada de conducir la política nacional sobre la mitigación del cambio climático)

Dr. Juan Cristóbal Mata Sandoval

Director General de Políticas para el Cambio Climático

(55) 5490 2127

juan.mata@semarnat.gob.mx

www.semarnat.gob.mx

ANEXO: DIRECTORIO

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)

(Encargada de conducir la política nacional relacionada con varias aplicaciones de las energías renovables)

Ing. Gustavo Rosiles Castro

Director de Infraestructura Urbana Básica

(55) 5080 0940, ext. 57103

grosiles@sedesol.gob.mx

Lic. Ramón Tonatiuh Medina Meza

Director de Coordinación Interinstitucional

(coordinador del Programa de Estufas Mejoradas)

(55) 5141 7900, ext. 55110

ramon.medina@sedesol.gob.mx

www.sedesol.gob.mx

Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO)

(Apoyo especializado en programas de desarrollo rural, entre los cuales se incluye el uso de energías renovables en actividades productivas rurales)

MVZ Octavio Montufar Avilés

Gerente Regional

(55) 4168 1195

sistemas2.firco@sagarpa.gob.mx

www.firco.gob.mx

Poder Legislativo Federal

Comisión de Energía de la Cámara de Diputados

C.P Miguel Pérez

Secretario técnico

(55) 5036 0000, ext. 57094

comision.energia@congreso.gob.mx

www.tinyurl.com/DipEner

Comisión de Energía del Senado de la República

Lic. Francisco Díaz Palafox

Secretario Técnico

(55) 5345 3000, ext. 3804

energia@senado.gob.mx

tinyurl.com/SenEner

Gobiernos estatales

Red Nacional de Comisiones de Energía (RENACE)

Dra. Ernestina Torres

Presidenta

(473) 7331 534, ext. 108 o 104

etorresr@guajuato.gob.mx

Organizaciones no gubernamentales

Asociación Mexicana de Energía Eólica, A.C. (AMDEE)

Ing. Cesar Xavier Fuentes Trujillo

Gerente

(55) 5395 9559

gerencia@amdee.org

www.amdee.org

Asociación Mexicana para la Economía Energética, A.C. (AMEE)

Dr. Francisco Barnes de Castro

Presidente

(55) 5283 1541

fbarnes@cre.gob.mx

www.economia-energetica.org.mx

Asociación Mexicana de Energía, A.C. (AME)

Ing. Jaime de la Rosa

Presidente

(55) 5520 2825

ame@infinitem.com.mx

Asociación Nacional de Energía Solar, A.C. (ANES)

Dra. Ernestina Torres

Presidenta

Lic. Carolina Olivos Montes de Oca Directora Ejecutiva

(55) 5601 8763

anescomite@anes.org

www.anes.org

Asociación Mexicana de Proveedores de Energías Renovables A.C. (AMPER)

Ing. José Luis Barquet Abad

Presidente

(777) 314 1392

info@amper.org.mx

amper.org.mx

Red Mexicana de Bioenergía, A.C. (REMBIO)

Dr. Omar Masera

Presidente

(55) 5623 2777, ext. 42617

rembio@oikos.unam.mx

www.rembio.org

Greenpeace México, A.C.

Lic. María José Cárdenas

Coordinadora de la Campaña de Energía y Cambio Climático

(55) 5687 9595, ext. 120

mcardena@greenpeace.org

www.greenpeace.org.mx

Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. (CEMDA)

Lic. Tania Mijares

Coordinadora de la Campaña de Aire y Energía

(55) 5286 3323, ext. 15

taniem@cemda.org.mx

www.cemda.org.mx

Institutos de investigación

Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigación en Energía (CIE)

Dr. Claudio Estrada

Director

Responsable del Programa Universitario de Energía

(55) 5622 9729

cestrada@cie.unam.mx

www.cie.unam.mx

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería (II)

Dr. David Morillón Gálvez

Investigador

(55) 5623 3600 ext. 8842

damg@pumas.ii.unam.mx

www.ii.unam.mx

Instituto de Investigaciones Eléctricas

(Encargado de realizar investigación y desarrollo tecnológico en el sector eléctrico, incluyendo energías renovables)

Dr. Jorge Huacuz Villamar

Gerente de Tecnologías no Convencionales

(777) 362 3806

jhuacuz@iie.org.mx

www.iie.org.mx

ANEXO: DIRECTORIO

Instituciones de educación superior

**Universidad Autónoma de San Luis Potosí y
Universidad de Ciencia Aplicada de Colonia,
Alemania**

International Master Program: Environmental and
Resources Management for Latin American and
German Young professionals

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

(444) 8262 439 / 35

pmpca.enrem@uaslp.mx

www.ambiental.uaslp.mx/pmpca

Universidad de Ciencia Aplicada de Colonia

(+49-221) 8275 2774 / 2736

info-enrem@itt.fh-koeln.de

www.tt.fh-koeln.de

Universidad Autónoma de Guadalajara

Maestría en Energías Renovables

Dr. Mauricio Alcocer

Director de la Maestría en Energías Renovables y

Director del Centro Renovable de la UAG

(33) 3648 8767; 01 800 36 83 600

postgradosuag@uag.mx

www.uag.mx/postgrado/m_energiarenov.htm

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO)

Especialidad en política y gestión energética y
medioambiental

Dr. Benjamín Temkin,

Coordinador del Programa

Ing. Odón de Buen

Asesor Académico

(55) 3000 0208

epygem@flacso.edu.mx

www.flacso.edu.mx/posgrados/old/epygem.php

Organismos de Cooperación multilateral y bilateral

**Deutsche Gesellschaft für Technische
Zusammenarbeit (GTZ) GmbH**

(Cooperación Técnica Alemana)

André Eckermann

Director Programa de Energía Sustentable

(55) 5000 6000, ext. 1088

andre.eckermann@gtz.de

www.gtz.de/mexico

Embajada Británica

John Franck

Primer Secretario del Departamento Comercial

UK Trade and Investment

(55) 5642 8549

john.franck@fco.gov.uk

Stepehn Lysaght

Consejero para asuntos de cambio climático

Climate Change

(55) 5642 8500

stephen.lysaght@fco.gov.uk

www.embajada.britanica.com.mx

Embajada de Canadá

Rosalba Cruz Jiménez

Servicio de Promoción Comercial

Delegada Comercial (Cambio Climático)

(55) 5724 7907

rosalba.cruz@international.gc.ca

www.canada.org.mx

**Banco Interamericano de Desarrollo (BID),
Unidad de Energía Sustentable y Cambio
Climático (SECCI)**

Lic. Dolores Barrientos Alemán

Especialista Regional de la Unidad de Energía
Sustentable y Cambio Climático

(55) 9138 6200, ext. 6252

doloresb@iadb.org

www.iadb.org

**Programa de Las Naciones Unidas para el
Desarrollo (PNUD)**

Verania Chao

Oficial de Programas

(55) 5263 9761

verania.chao@undp.org.mx

www.pnud.org.mx

**Agencia de Cooperación Internacional del
Japón- Oficina en México (JICA)**

Lic. Norio Yonezaki

Director

(55) 5557 9995 ext. 103

yonezaki.norio@jica.go.jp

BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, S. y G. Hiriart, 2008. "An Applied Research Program on Water Desalination with Renewable Energies", en: *American Journal of Environmental Sciences* 4 (3): 190-197. Disponible en: tinyurl.com/arpwdre.
- Alonso, H., 1985. "Present and Planned utilization of Geothermal Resources in Mexico", en: *Geothermal Resources Council Transactions*, pp. 135-140. Citado por *Mulás, et al.*, 2005.
- ASPO (The Association for the Study of Peak Oil and Gas), 2008. *Newsletter No. 89* – mayo del 2008. Disponible en: tinyurl.com/3vmqr3.
- Awerbuch, Shimon, 2004. *Portfolio-Based Electricity Generation Planning: Implications for Renewables and Energy Security*. Informe preparado para REEEP, Foreign and Commonwealth Office (Londres) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en: tinyurl.com/pfbegp.
- Balance Nacional de Energía 2007. Disponible en: tinyurl.com/BNE2007.
- Banco Mundial, 2006. *Technical and Economic Assessment of Off Grid, Mini-Grid and Grid Electrification Technologies. Annexes*. Energy Unit, Energy and Water Department, septiembre. Disponible en: tinyurl.com/wb2006.
- Banco Mundial, 2008. *Study of Equipment Prices in the Power Sector (draft)*. Disponible en: tinyurl.com/draftdoc1.
- Banco Mundial, 2009. Información sobre el proyecto térmico solar Agua Prieta II, en tinyurl.com/AguaPrieta.
- Bickel, P. y R. Friedrich, 2005. *ExternE. Externalities of Energy. Methodology 2005 Update*. Disponible en: tinyurl.com/ExternE.
- Bode, Sven; y Helmuth-M. Groscurth, 2008. *Incentives to Invest in Electricity Production from Renewable Energy under Different Support Schemes. An evaluation of feed-in tariffs and renewable energy certificate trading schemes in the context of expansion targets for renewable energies in the EU*. Discussion Paper 1E. Arrhenius Institute for Energy and Climate Policy, Hamburgo. Disponible en: tinyurl.com/5jye5u.
- Bolinger, Mark; Ryan Wiser; y William Golove, 2003. *Accounting for Fuel Price Risk: Using Forward Natural Gas Prices Instead of Gas Price Forecasts to Compare Renewable to Natural Gas-Fired Generation*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Documento técnico LBNL-53587. Disponible en: tinyurl.com/5yrf9c.
- Cabraal, Anil; Sachin Agarwal y Masaki Takahashi, 2007. "Rising to the challenge: The whys and whens of renewable energy", en: *Renewable Energy World, Vol. 10, no. 4*, julio-agosto del 2007. Disponible en: tinyurl.com/4jy832.
- CEPAL y SEMARNAT, 2004. Evaluación de las externalidades ambientales de la generación termoeléctrica en México. Disponible en: tinyurl.com/MEXL644.
- CFE, 2000. *Potencial Hidroeléctrico Nacional*. Subdirección de Construcción.
- CMNUCC, 1992. Disponible en: tinyurl.com/cmnucc.
- CMR, 2000. *Represas y desarrollo. Un nuevo marco para la toma de decisiones. El reporte final de la Comisión Mundial de Represas*. Disponible en: tinyurl.com/wcdesp.
- CONABIO, 2009. Resultados del Primer Taller de Evaluación de los Impactos de la Generación de Energía Eoloeléctrica sobre la Vida Silvestre (en preparación).

- CONACYT, 2009. Información sobre el Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética. Disponible en: tinyurl.com/FSCSESE.
- CONAE, 1995. *Estudio de la Situación Actual de la Minihidráulica Nacional y Potencial en una Región de los Estados de Veracruz y Puebla*.
- CONAE, 2006. *Guía de gestiones para implementar en México plantas de generación eléctrica que utilicen energías renovables*. Disponible en: tinyurl.com/GuiaER. Ver también: www.layerlin.com.
- CONAE, 2008. *Especificaciones para determinar el ahorro de de gas L.P. en sistemas de calentamiento de agua que utilizan la radicación solar y el gas L.P.* Disponible en: tinyurl.com/EspSolar.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Disponible en: tinyurl.com/cpdleum.
- Contrato de interconexión para fuente de energía renovable, 2007. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de julio de 2007. Disponible en: tinyurl.com/res140.
- Contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala, 2007. Publicado en el Diario Oficial de la Federación, 27 de junio de 2007. Disponible en: tinyurl.com/solarpeq.
- CONUEE/ GTZ, 2009. Market Niches for Grid-connected Photovoltaic Systems in Mexico. CONUEE / GTZ. Disponible en: tinyurl.com/NichosFV
- El Universal, 2008. *Electricidad a base de oleaje, opción de CFE* (nota de Noé Cruz Serrano, 3 de junio del 2008). Disponible en: tinyurl.com/Rosarito.
- Elliot, D.; M. Schwartz; G. Scott; S. Haymes; D. Heimiller; y R. George, 2003. *Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca*. Informe para el National Renewable Energy Laboratory. Disponible en: tinyurl.com/eoloax.
- ENACC (*Estrategia Nacional de Cambio Climático*), 2007. Comisión Intersecretarial del Cambio Climático. Disponible en: tinyurl.com/3nkhly.
- Energy Watch Group, 2008. *Wind Power in Context – A Clean Revolution in the Energy Sector*. Disponible en: tinyurl.com/EWGwind.
- Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos, 2008*. Disponible en: tinyurl.com/eibioen.
- FAO, 2008. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2008. Biocombustibles: Perspectivas, riesgos y oportunidades*. Disponible en: tinyurl.com/sofaesp.
- Greenpeace, 2008. *[R]evolución energética: Una perspectiva de energía sustentable para México*. Realizado junto con el Conejo Europeo para las Energías Renovables (EREC). Disponible en: tinyurl.com/GPrevene.
- GWEC (Global Wind Energy Council), 2009. "US and China in race to the top of global wind industry" (boletín de prensa, 2 de febrero del 2009). Disponible en: tinyurl.com/GWEC090202.
- IEA, 2007. *Renewables for Heating and Cooling. Untapped Potential*. Disponible en: tinyurl.com/IEArhc.
- IEA, 2008a. *Deploying Renewables: Principles for Effective Policies*. De venta en: tinyurl.com/acq8ok.
- IEA, 2008b. *Empowering Variable Renewables. Options for Flexible Electricity Systems*. Disponible en: tinyurl.com/VarRen.

BIBLIOGRAFÍA

- IEA, 2008c. *Key World Energy Statistics 2008*. Disponible en: tinyurl.com/kwes08.
- IEA, 2008d. *World Energy Outlook 2008*. De venta en: www.worldenergyoutlook.org.
- IEA, 2009. *Global Renewable Energy Policies and Measures Database*. Disponible en: tinyurl.com/GREPMD.
- IIE, 2009. Información sobre el plan de acción para eliminar barreras para el desarrollo de la generación eoloeléctrica en México, en: tinyurl.com/planeol.
- IMP, 2007. *Modelación de Posibles Escenarios Tecnológicos para la Mitigación de GEI en México*. "Mapas Tecnológicos", Informe preparado para el Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: tinyurl.com/geimex.
- INEGI, 2000. *XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Datos Tabulados Básicos e Integración Territorial por localidad*.
- INEGI, 2008. *II Censo de Población y Vivienda 2005. Resultados definitivos. Tabulados básicos*. Disponible en: tinyurl.com/cpv2005.
- International Feed-in Cooperation, 2009. Información del proyecto *International Feed-in Cooperation*, en: www.feed-in-cooperation.org
- Islas, J.; F. Manzini y O. Maser, 2007. "A prospective study of bioenergy use in Mexico", en *Energy* 32, 2306–2320 (doi:10.1016/j.energy.2007.07.012). Disponible en: tinyurl.com/apsobuim
- JIQ (Joint Implementation Quarterly), 2009. "Energy Towers", en: JIQ, Vol. 14, Núm. 4, diciembre 2008 - enero 2009. Disponible en: www.jiqweb.org/jiq0408.pdf.
- Johnson, T.; C. Alatorre, Z. Romo y F. Liu, 2009. México: Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono (MEDEC), Banco Mundial (en prensa).
- Kombikraftwerk, 2009. Información en alemán y en inglés sobre el proyecto *Das regenerative Kombikraftwerk*, en www.kombikraftwerk.de.
- LAERFTE (*Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*), 2008. Disponible en: tinyurl.com/laerfte.
- LASE (*Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*), 2008. Disponible en: tinyurl.com/LApSuEn.
- LFD (*Ley Federal de Derechos*), 2008. Disponible en: tinyurl.com/LFD2008.
- LPDB (*Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*), 2008. Disponible en: tinyurl.com/ldpyddb.
- LISR (*Ley del Impuesto sobre la Renta*), 2008. Disponible en: tinyurl.com/LISR2008.
- Masera, O. et al., 2006. *Potenciales y viabilidad del uso de bioetanol y biodiesel para el transporte en México*. Secretaría de Energía, Banco Interamericano de Desarrollo y GTZ. Disponible en tinyurl.com/pvubbtm.
- Masera, O. et al., 2006b. *La bioenergía en México. Un catalizador del desarrollo sustentable*. Red Mexicana de Bioenergía y Comisión Nacional Forestal. De venta en: tinyurl.com/biocds.
- McKinsey y CMM (Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C.), 2009. *Low-Carbon Growth. A Potential Path for Mexico*.

- Mercado, S., 1976. "The Geothermal Potential Evaluation of Mexico by Geothermal Chemistry", en: *International Congress on Thermal Waters, geothermal Energy and Vulcanism of the Mediterranean Area*, Atenas, Grecia. Citado por Mulás, et al., 2005.
- Mercado, S., Sequeiros, J., Fernández, H. 1985. "Low Enthalpy Geothermal Reservoirs in Mexico and Field Experimentation on Binary-Cycle Systems", en: *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 9, pp. 523-526. Citado por Mulás, et al., 2005.
- Mulás, P. et al., 2005. *Prospectiva sobre la utilización de las energías renovables en México. Una visión al año 2030*. Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en: tinyurl.com/psuerm.
- NADF-008-AMBT-2005. *Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-008-AMBT-2005 que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavanderías y tintorerías*. Disponible en: tinyurl.com/nadf008.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory), 2009. *Mapas eólicos*, en: tinyurl.com/NRELmaps.
- NUSIM-005.01. *Norma Técnica de Competencia Laboral para la instalación del sistema de calentamiento solar de agua*, en: *Diario Oficial*, 5 de febrero del 2009. Disponible en: tinyurl.com/nusim005.
- PERGE (*Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala*), 2006. Disponible en: tinyurl.com/36733h.
- Peryn, Frans; Enrique Riegelhaupt; y Maria Auxiliadora Gariglio, 2008. *Environmental Impacts of Caatinga Forest Management - A Study Case. Informe del proyecto UNDP/GEF/MMA BRA/03-G31*. En: Steven P. Grossberg, *Forest Management*. ISBN 978-1-60692-504-1. De venta en: tinyurl.com/grossberg.
- Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*. Disponible en: pnd.presidencia.gob.mx.
- PPSIBDCT (*Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico*), 2008. Disponible en: tinyurl.com/ppsibio.
- PROCALSOL (*Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México*), 2007. Disponible en: tinyurl.com/Procalsol.
- PROSENER (*Programa Sectorial de Energía 2007-2012*). Disponible en: tinyurl.com/prosener.
- Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017*. Disponible en: tinyurl.com/PSE2017.
- PSIEPCRM (*Proyecto Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en México*). Disponible en: tinyurl.com/siepcrm.
- Reforma, 2009. *Venderá Cemex bonos de carbono* (nota de César Sánchez, 23 de enero del 2009). Disponible en: tinyurl.com/NotaReforma.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), 2005. *Energy for Development. The Potential Role of Renewable Energy in Meeting the Millennium Development Goals*. Disponible en: tinyurl.com/retsmgd.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), 2008. *Renewables 2007. Global Status Report*. Disponible en: tinyurl.com/gsr2007.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), 2009. *Renewables Global Status Report. 2009 Update*. Disponible en: tinyurl.com/gsr2009

BIBLIOGRAFÍA

RETScreen International, 2006. *Análisis de Proyectos de Calentamiento por Biomasa*. Disponible en: tinyurl.com/APCbiomasa.

RLPDB (*Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*), 2009. Disponible en: (tinyurl.com/rldpyddb).

Sandia National Laboratories, 2009. Mapas eólicos y solares de México, en: tinyurl.com/SandiaMaps.

SEMARNAT, 2006. *Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-151-SEMARNAT-2005, que establece las especificaciones técnicas para la protección del medio ambiente durante la construcción, operación y abandono de instalaciones eoloeléctricas en zonas agrícolas, ganaderas y eriales*. Disponible en: tinyurl.com/ProyNOM151.

SEMARNAT, 2008. *Logros de la instrumentación de la estrategia de transversalidad de políticas públicas para el desarrollo sustentable en la Administración Pública Federal (APF) en 2008*. Disponible en: tinyurl.com/trdsapf8.

SEMARNAT, 2009. *Programa Especial de Cambio Climático*. Disponible en: tinyurl.com/?

SENER, 2009. Información sobre el Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala, en: tinyurl.com/36733h.

SENER, 2009. *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*. Disponible en: tinyurl.com/?.

The Independent, 2009. *Green dilemma over plans to harvest power of the sea*. 27 de enero del 2009. Disponible en: tinyurl.com/cghust.

Weiss, W.; I. Bergmann; y R. Stelzer (2009). *Solar Heat Worldwide. Markets and Contributions to the Energy Supply 2007*. Solar Heating and Cooling Programme, International Energy Agency. Disponible en: tinyurl.com/IEAshw09

Worldwatch Institute, 2008. *Green Jobs: Towards decent work in a sustainable, low-carbon world*. Informe preparado para el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en: tinyurl.com/3snlfr.

Portada Foto: Bernhard Bösl

Foto interior GTZ/Foto: Marco Antonio Lemus

Ilustración 2 Comisión Federal de Electricidad, tinyurl.com/CFEfotos.

Ilustración 3 GTZ/Foto: Marco Antonio Lemus

Ilustración 4 Fragmento del mapa eólico del estado de Oaxaca, National Renewable Energy Laboratory.

Ilustración 5 GTZ/Foto: Marco Antonio Lemus.

Ilustración 6 Foto de Gregory Kolb, Sandia National Laboratories, tinyurl.com/SNLphotos, CD 1428, ítem 17.

Ilustración 7 GTZ/Foto: Marco Antonio Lemus.

Ilustración 8 Foto COMEXHIDRO/ ASERGEN.

Ilustración 9 Foto: Rodolfo Díaz/ Helps International.

Ilustración 10 Foto: André Eckermann

Ilustración 11 ASPO, 2008

Ilustración 12 GTZ/Foto: Marco Antonio Lemus