



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES LEGISLATIVAS DEL
SENADO DE LA REPÚBLICA



**NUEVAS ENERGÍAS
RENOVABLES:
UNA ALTERNATIVA
ENERGÉTICA SUSTENTABLE
PARA MÉXICO
(ANÁLISIS Y PROPUESTA)**

AGOSTO DE 2004



MESA DIRECTIVA

Senador Enrique Jackson Ramírez

Presidente

Partido Revolucionario Institucional

Senador Carlos Chaurand Arzate

Vicepresidente

Partido Revolucionario Institucional

Senador César Jáuregui Robles

Vicepresidente

Partido Acción Nacional

Senador Raymundo Cárdenas Hernández

Vicepresidente

Partido de la Revolución Democrática

Senadora Lydia Madero García

Secretaria

Partido Acción Nacional

Senadora Yolanda González Hernández

Secretaria

Partido Revolucionario Institucional

Senador Rafael Melgoza Radillo

Secretario

Partido de la Revolución Democrática

Senadora Sara Isabel Castellanos Cortés

Secretaria

Partido Verde Ecologista de México

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES LEGISLATIVAS DEL SENADO DE LA REPÚBLICA

Senador Oscar Cantón Zetina

Presidente

Cuitláhuac Bardán Esquivel

Director General de Investigación

Eduardo Macías Martínez

Director General de Vinculación

Guillermo Tenorio Herrera

Director General de Estudios Legislativos

COORDINADORES INSTITUCIONALES

Lic. Cuitláhuac Bardán Esquivel

Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República

Dr. Jorge Marcial Islas Samperio

Centro de Investigación en Energía- UNAM

COORDINADORES DEL PROYECTO

M en I. Hilda Hernández Muñoz

Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República

Dr. Jorge Marcial Islas Samperio

Centro de Investigación en Energía- UNAM

INVESTIGADORES

Dr. Fabio Luigi Manzini Poli

Centro de Investigación en Energía- UNAM

M en I. Paloma Macías Guzmán

Centro de Investigación en Energía- UNAM

NUEVAS ENERGÍAS RENOVABLES: UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA SUSTENTABLE PARA MÉXICO (ANÁLISIS Y PROPUESTA)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: PANORAMA MUNDIAL DE LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES	1
1.1. ANTECEDENTES: LAS GRANDES TRANSICIONES ENERGÉTICAS	3
1.2. EL CONSUMO MUNDIAL DE LAS FUENTES RENOVABLES Y SU PAPEL EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: SITUACIÓN ACTUAL Y NUEVAS TENDENCIAS	6
1.3. ¿ESTAMOS ANTE UNA NUEVA TRANSICIÓN ENERGÉTICA?	10
1.4. EL PROTOCOLO DE KYOTO: ACUERDO HACIA UNA TRANSICIÓN POSIBLE	15
1.5. LA CONFERENCIA DE BONN Y LOS ENFOQUES DE POLÍTICA HACIA LAS ENERGÍAS RENOVABLES	17
CAPÍTULO II: NUEVAS ENERGÍAS RENOVABLES	21
2.1. BIOMASA	23
2.2. ENERGÍA SOLAR	32
2.3. EÓLICA	41
2.4. ENERGÍA HIDRÁULICA	45
2.5. GEOTERMIA	49
2.6. OTRAS NUEVAS ENERGÍAS RENOVABLES	52

2.6.1. ENERGÍA OCEÁNICA	52
2.6.2. ENERGÍA DEL HIDRÓGENO	53
CAPÍTULO III: POLÍTICAS ENERGÉTICAS ADOPTADAS EN EL MUNDO Y EN MÉXICO PARA UNA MAYOR INTEGRACIÓN DE LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA	55
3.1. UNIÓN EUROPEA	57
3.1.1. ALEMANIA	60
3.1.2. DINAMARCA	65
3.1.3. ESPAÑA	66
3.1.4. FINLANDIA	68
3.1.5. HOLANDA	71
3.2. BRASIL	73
3.3. INDIA	75
3.4. FILIPINAS	79
3.5. CHINA	79
3.6. INDONESIA	80
3.7. MÉXICO	81
CAPÍTULO IV: MÉXICO Y LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA	93
4.1. LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES EN EL CONTEXTO ENERGÉTICO DE MÉXICO	95
4.2. POTENCIAL Y CAPACIDAD INSTALADA POR FUENTE	98
4.3. ESCENARIO CON NUEVAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA PARA EL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO	109

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE POLÍTICA ENERGÉTICA PARA LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN MÉXICO	125
CONCLUSIONES	145
ANEXO I: METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ESCENARIOS DEL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO	153
GLOSARIO DE TÉRMINOS	163
BIBLIOGRAFÍA	167

INTRODUCCIÓN

El Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República conjuntamente con investigadores del Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México, han elaborado el documento "*Nuevas Energías Renovables: Una Alternativa Energética Sustentable para México*", con el objeto de proporcionar información relevante y sistematizada a los CC. Senadores y Comisiones Legislativas acerca de uno de los temas de mayor importancia para nuestro país en términos económicos, políticos, sociales y ambientales.

Esta investigación se realizó manteniendo una visión integrada de los aspectos que deben tenerse en cuenta para una adecuada planeación que se encamine al desarrollo en nuestro país de lo que se denomina *las nuevas fuentes renovables de energía* (NFRE), las cuales excluyen a la leña y a la gran hidroelectricidad, la primera porque su consumo actual es mayor que su tasa de regeneración natural esto se atribuye mayoritariamente a su consumo industrial y en menor proporción al consumo de la población rural. En el caso de la segunda, porque la explotación de la energía hidráulica en gran escala ha generado un intenso debate debido a sus altos impactos ambientales y sociales.

Así, dentro de la multiplicidad de elementos involucrados con estas nuevas energías renovables, se enfatizaron aquellos vinculados con las principales problemáticas energéticas a nivel mundial y nacional (véase la investigación "*Energía y Desarrollo Sustentable en México*", IILSEN, 2004), las características y aplicaciones de las nuevas tecnologías y las experiencias internacionales más importantes a nivel mundial para fomentar su uso. Asimismo, se proporciona a nivel nacional una evaluación de los potenciales de desarrollo de las NFRE, su situación tanto en la oferta energética nacional como en el contexto de política energética actual, y, finalmente, sus escenarios posibles de desarrollo evaluados desde el punto de vista económico y ambiental. Todo esto con la finalidad de

proporcionar un contexto analítico apropiado para el planteamiento de propuestas generales de política que puedan servir como un marco general para apoyar el quehacer legislativo en esta materia.

El debate sobre el desarrollo de las fuentes renovables de energía en el contexto nacional, si bien se da a la par de otras problemáticas que en el corto plazo pueden resultar mucho más apremiantes, no puede considerarse de ninguna forma como una tarea postergable. El análisis de las experiencias internacionales más recientes muestra que las NFRE son un tema prioritario en las agendas energéticas, tanto de los países industrializados como de muchas economías en desarrollo, gracias a sus efectos beneficiosos en las esferas económica, social y ambiental. Así, se les ha identificado como impulsoras del desarrollo y comercialización de nuevas tecnologías, de la creación de empleos, de la conservación de los recursos energéticos no renovables, del aprovechamiento energético de recursos endógenos cuantiosos actualmente ignorado, de la reducción de gases de efecto invernadero, de precursores de lluvias ácidas y de partículas que pueden dañar gravemente a la salud pública, aprovechamiento de las estructuras sociales tradicionales y sus saberes asociados, y de la planeación participativa, plural e incluyente, entre otros aspectos. En resumen, las nuevas fuentes de energía renovable se identifican ampliamente con los objetivos del desarrollo sustentable.

A pesar de todas estas ventajas, la magnitud y complejidad de las tareas a realizar en el contexto nacional no es insignificante, sin embargo, una planeación fundamentada en un marco legal adecuado será un paso fundamental para su desarrollo y consolidación en el sistema energético mexicano.

Este trabajo inicia con la descripción de la situación energética actual a nivel internacional, la problemática referente a los patrones vigentes de producción y consumo de energía, y el análisis de una posible transición energética favorable a las nuevas fuentes renovables de energía.

El segundo capítulo se centra en la descripción de las nuevas fuentes renovables de energía, su potencial a escala mundial, sus principales características y los aspectos tecnológicos más relevantes y, finalmente, se proporcionan ejemplos de sus aplicaciones y de sus ventajas ambientales y sociales.

El tercer apartado aborda las experiencias internacionales más relevantes en lo que respecta a la inserción de las nuevas fuentes renovables en las políticas energéticas, el contexto del país, sus mecanismos de implantación y seguimiento, y sus principales resultados, tanto a nivel general como en sectores económicos específicos.

El capítulo cuarto se centra en el análisis de la situación de México, exponiendo aspectos tales como el diagnóstico actual de las fuentes renovables de energía y la identificación de los potenciales de desarrollo. Asimismo, se analizan tres escenarios y se comparan desde el punto de vista ambiental y económico para revelar el papel que las nuevas fuentes renovables de energía pueden jugar dentro del sector eléctrico mexicano.

Finalmente, el último capítulo se centra en el planteamiento de lineamientos generales para el desarrollo y consolidación de las nuevas fuentes renovables de energía en nuestro país.

CAPITULO I

PANORAMA MUNDIAL DE LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES

En este capítulo se aborda la problemática energética actual a nivel mundial en los aspectos referentes a la disponibilidad futura de las fuentes actuales y sus efectos en el ambiente. Asimismo, se expone la situación de las nuevas fuentes renovables de energía (NFRE) en el contexto internacional, y los mecanismos internacionales políticos y de gestión que pueden favorecer su desarrollo. Finalmente, se analiza la posibilidad de una nueva transición energética favorable a las NFRE.

1.1. ANTECEDENTES: LAS GRANDES TRANSICIONES ENERGÉTICAS.

Quizás el momento más decisivo para la humanidad haya sido el descubrimiento del fuego, y gracias a él, la humanidad comenzó a ser capaz de controlar y modificar muchos procesos que hasta ese momento dependían únicamente de la naturaleza. Desde entonces la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de las necesidades cotidianas de todas las formas organización social, partiendo de los usos y equipos más elementales, como la cocción de alimentos con los fogones de tres piedras, hasta los sofisticados aparatos electrónicos dedicados exclusivamente al ocio y el entretenimiento en las sociedades post-industriales.

Desde la perspectiva humana, la energía es entonces, ubicua y permanente. Ubicua, porque el hombre en tanto ente biológico y social depende de ella, ya sea como la radiación solar indispensable para las funciones biológicas o para los ciclos agrícolas, o como la fuerza motriz del viento o del agua requerida para impulsar los antiguos molinos de granos, o los modernos equipos de generación eléctrica. Y es permanente, porque las necesidades pasadas, presentes y futuras de energía son determinadas y conducidas por tres factores

principales: el crecimiento de la población, el desarrollo económico y el progreso tecnológico (Nakicenovic, Grübler y Mc Donald, 1998).

Durante la mayor parte de la historia humana, el sistema energético dependió de los flujos naturales de energía y de la fuerza animal y humana para proveer los servicios requeridos en la forma de calor, luz y trabajo. La única forma de transformación conocida era de la energía química a la energía calorífica y luminosa, mediante la quema de leña o de velas. Fue a partir de la Revolución Industrial cuando el sistema energético mundial pasó por dos transiciones altamente significativas; la primera de ellas fue iniciada por una innovación tecnológica radical: la máquina de vapor alimentada por carbón. Con ella se realizó la primera conversión de recursos energéticos fósiles en trabajo, lo que implicó la posibilidad de separar geográficamente y en gran escala el origen de las fuentes energéticas respecto a su lugar de consumo final. El carbón podía ser transportado y almacenado en donde se le requiriera, dotando de recursos energéticos a casi cualquier región, lo que antes sólo era posible si existían abundantes recursos hidráulicos en el sitio (Nakicenovic, Grübler y Mc Donald , 1998).

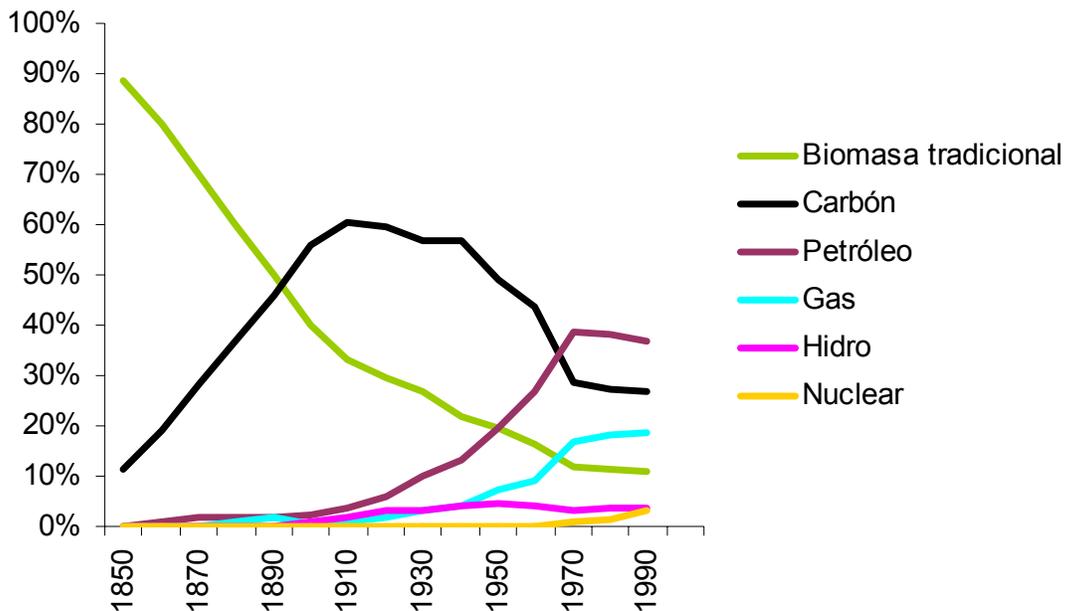
La segunda gran transición fue la creciente diversificación de las tecnologías de uso final energético y de las fuentes de abastecimiento de energía. La introducción de la electricidad fue quizás el factor más importante para que esta transición ocurriera, ya que la energía eléctrica podía ser fácilmente convertida en luz, calor o trabajo en los lugares de uso final. Una segunda innovación fue el motor de combustión interna, el cual revolucionó los patrones de transporte individual y colectivo. Sin embargo, junto con esto se dio una creciente dependencia del petróleo como el energético primario que cubriría las necesidades cada vez mayores de combustibles para generación eléctrica y para transporte.

 Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

La figura 1.1 muestra el panorama energético mundial a partir de 1850. En ella puede verse claramente la sustitución paulatina de la biomasa tradicional por los combustibles fósiles. El carbón se inició como el energético predominante a principios del siglo XX, cubriendo cerca de las dos terceras partes de los requerimientos energéticos globales en la época de la Primera Guerra Mundial. En la misma figura también se observa el declive gradual del carbón a favor del petróleo y también el surgimiento de otras fuentes energéticas como el gas natural (el cual primero fue un subproducto de la extracción del petróleo), el fortalecimiento de la hidroelectricidad y, a partir del período de posguerra, el surgimiento de la energía nuclear (Nakicenovic, Grübler y Mc Donald, 1998). Sin embargo, a pesar del surgimiento de otras fuentes energéticas primarias (véase glosario de términos) continuamos viviendo una era en donde el patrón de energía está dominado por los recursos fósiles, principalmente por el petróleo.

Figura 1.1 Evolución de las fuentes de energía primaria a nivel mundial,

1850-2000

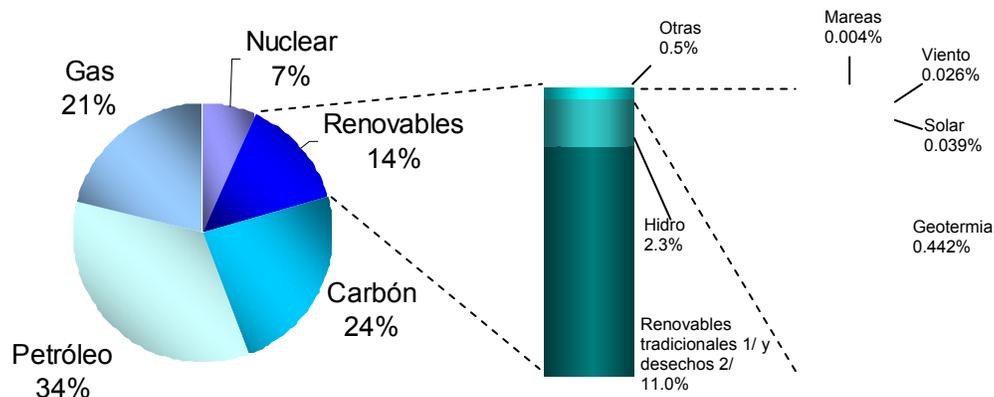


FUENTE: Elaborado con base en Nakicenovic, Grübler y Mc Donald, 1998.

1.2. EL CONSUMO MUNDIAL DE LAS FUENTES RENOVABLES Y SU PAPEL EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: SITUACIÓN ACTUAL Y NUEVAS TENDENCIAS.

Las transiciones sucesivas de la estructura energética mundial ocurridas a lo largo del siglo XX han creado un panorama muy diferente al que predominaba en 1850, en donde quizás el cambio más dramático ha sido el correspondiente a la participación de las fuentes renovables de energía (véase glosario de términos). De constituir casi el 90% de la oferta energética mundial en 1850, los energéticos renovables pasaron a conformar únicamente el 14% de esta oferta en el año 2000 (ISES, 2002), como lo muestra la figura 1.2.

Figura 1.2. Estructura de la oferta mundial de energía primaria, 2000



FUENTE: ISES, 2002

1/ incluye leña y carbón vegetal

2/ incluye residuos agrícolas y desechos sólidos municipales

Esta reducción tan acentuada a favor de las fuentes fósiles, que en conjunto representaron el 79% de la oferta mundial de energía primaria en el año 2000 no

fue, sin embargo, fruto de la casualidad. El crecimiento de la población mundial se dio junto con importantes cambios en la organización de los procesos productivos debidos a la industrialización, a lo que se aunaron los procesos de urbanización y las crecientes necesidades de transporte de personas, de insumos y de mercancías. Esto determinó el surgimiento de nuevas y mayores necesidades energéticas que las fuentes tradicionales como la leña ya no podían cubrir a un nivel masivo. En esa nueva etapa, el continuar cubriendo la demanda energética únicamente a base de leña hubiera significado una gran devastación forestal dados los enormes requerimientos y las bajas eficiencias de las tecnologías utilizadas. Así, se hizo cada vez más necesario recurrir a fuentes fácilmente transportables y con mayor densidad energética (véase glosario de términos), por lo que el carbón y el petróleo cubrieron ese nuevo papel.

¿Pero por qué el uso de las fuentes renovables no desapareció totalmente con el surgimiento y consolidación de las fuentes llamadas convencionales? Una de las razones de esta permanencia es que el desarrollo económico no ha alcanzado a todas las regiones del mundo por igual. Todavía existen regiones sin acceso a la energía convencional, que subsisten utilizando fuentes o tecnologías elementales. Otra razón ha sido de tipo cultural: muchos habitantes de zonas rurales prefieren cocinar sus alimentos con leña por considerar que su sabor es mejor, e incluso el fogón es un elemento importante de cohesión y convivencia familiar en zonas rurales de climas fríos.

Cabe mencionar que en este análisis no se considera a la leña como recurso renovable, debido a que este energético no se utiliza actualmente de manera sustentable¹. Sin embargo, aunque el consumo actual de leña es mayor

¹ Una solución viable para que el consumo de la leña sea sustentable es el uso extenso de plantaciones agroenergéticas para satisfacer la demanda de leña de consumo industrial y del sector doméstico rural que representa el 4.5% de la oferta interna bruta de energía primaria. De esta manera, las plantaciones agroenergéticas gracias a su carácter

que su tasa de regeneración natural, esto se atribuye mayoritariamente a su consumo industrial (Díaz, 2002) y en menor proporción al consumo de la población rural.

También existen razones de índole estratégica o económica; para muchas regiones es más conveniente aprovechar sus recursos hidráulicos en la generación de electricidad, que producirla a base de petrolíferos. Así, la permanencia de las fuentes renovables en el panorama energético mundial es un factor que no puede descartarse y que incluso ofrece un gran potencial de crecimiento, como se verá posteriormente. Retomando la información de la figura 1.2 puede verse que en el año 2000 el 11% de la oferta mundial de energía primaria se compuso de biomasa tradicional y desechos; el 2.3% de hidroelectricidad y el 0.5 % de otras fuentes como la geotermia, la energía solar, el viento y las mareas.

Analizando el tema de la hidroelectricidad, la explotación de la energía hidráulica en gran escala ha generado un intenso debate debido a sus altos impactos ambientales y sociales. Por esta razón, las grandes plantas hidroeléctricas no se consideran una fuente renovable de energía en esta investigación.

Pero junto con la permanencia de las fuentes renovables a las que se refiere la figura 1.2, el progreso científico y tecnológico ha determinado la aparición en el mapa energético de nuevas formas de aprovechamiento de energías renovables, las cuales denominaremos como nuevas fuentes renovables de energía (NFRE), que ciento cincuenta años antes hubieran sido impensables,

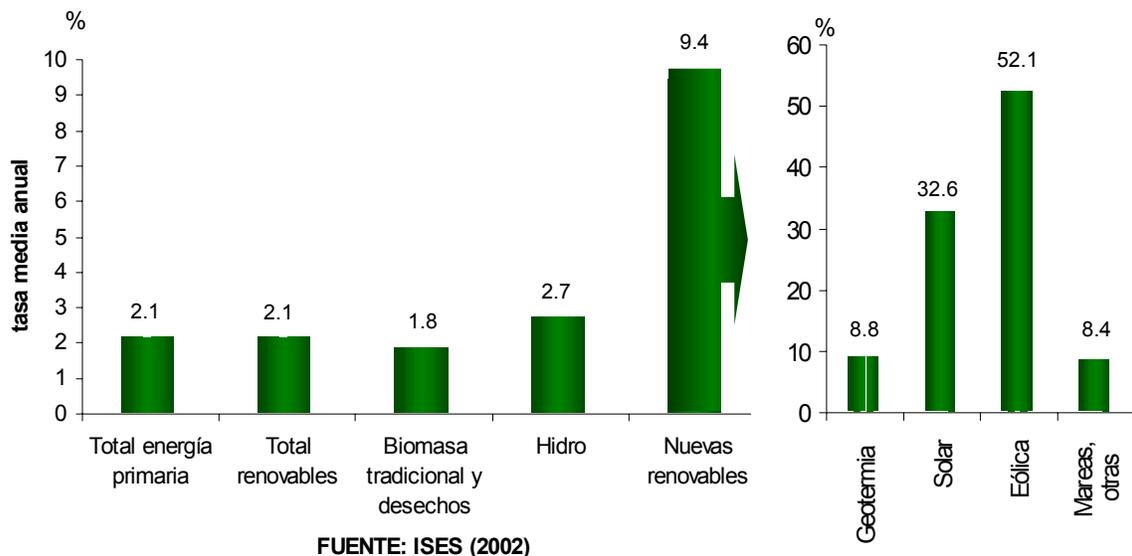
renovable, constituyen una posible solución al problema de la deforestación y a la carencia de energéticos y alimentos en zonas rurales.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

como las celdas solares, los sistemas eólicos, o los biocombustibles. Esto, aunado al surgimiento de ciertos nichos económicos favorables para su utilización, a la identificación de regiones con un alto potencial de aprovechamiento y a la creciente aceptación de la opinión pública de sus ventajas ambientales sobre las energías convencionales, le ha conferido a las fuentes renovables una importancia creciente.

La figura 1.3 muestra la tasa anual de crecimiento de las energías renovables durante las últimas tres décadas. Puede observarse que mientras las fuentes utilizadas tradicionalmente muestran un crecimiento moderado, las nuevas fuentes (geotermia, solar, eólica y otras) crecieron en promedio a 9.4% cada año.

Figura 1.3. Crecimiento anual de la oferta renovable, 1971-2000



1.3. ¿ESTAMOS ANTE UNA NUEVA TRANSICIÓN ENERGÉTICA?

Pero si se analiza por separado cada una de estas nuevas fuentes se observa que la energía solar y la energía eólica tienen un crecimiento de 32.6% y 52.1% anual, respectivamente. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que treinta años atrás estas dos fuentes tenían un nivel de desarrollo muy incipiente.

Como ya se mencionó, las dos grandes transiciones energéticas ocurridas en los últimos 150 años han facilitado profundos cambios estructurales en el empleo, la división espacial del trabajo y en el comercio internacional. Estos cambios están asociados con la modernización de las estructuras económicas y sociales tradicionales e incluyen los procesos de industrialización, urbanización, el surgimiento de fuentes comerciales de energía, una mayor calidad de los servicios energéticos y una intensidad energética decreciente (Nakicenovic, Grübler y McDonald, 1998).

Sin embargo, de acuerdo con ISES (2002), la mayoría de los países del mundo ha basado su crecimiento económico en los combustibles fósiles como si fueran inagotables o como si las futuras transiciones energéticas fueran tarea de las próximas generaciones, y no de las presentes.

En este sentido, es necesario considerar que la actual era del petróleo, junto con todos sus beneficios, también ha traído numerosas consecuencias no siempre positivas: en primer lugar, destaca la división en países vendedores y compradores, cuya correlación de fuerzas ha sufrido profundos cambios desde principios del siglo XX. El control total del mercado internacional por las “*Siete Hermanas*” terminó con la creación de la OPEP en 1960 y a partir de entonces el mercado fue controlado por los vendedores, situación que alcanzó su punto más

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

crítico con el embargo petrolero de 1973, revelando la gran dependencia del mercado mundial respecto a los suministros del Medio Oriente. Esta situación no ha podido ser contrarrestada ni siquiera con el surgimiento de nuevos productores en otras regiones del mundo durante los años setenta y ochenta.

En segundo lugar, la petrolización de las economías de la gran mayoría de los países exportadores de petróleo genera una gran vulnerabilidad respecto a las fluctuaciones de los precios en el mercado petrolero internacional.

En tercer lugar, el hecho de que el petróleo no es un recurso renovable, y que los países con la mayor relación reservas-producción están concentrados en la región del Medio Oriente, genera una gran incertidumbre en el panorama global por los riesgos políticos que esto implica para las principales potencias mundiales.

En cuarto lugar, la dependencia casi total que el sector transporte aun mantiene respecto al petróleo, sus requerimientos crecientes de energía y la incertidumbre sobre la sustitución a mediano plazo del motor de combustión interna o de los combustibles fósiles en este sector es otra consecuencia de la era del petróleo.

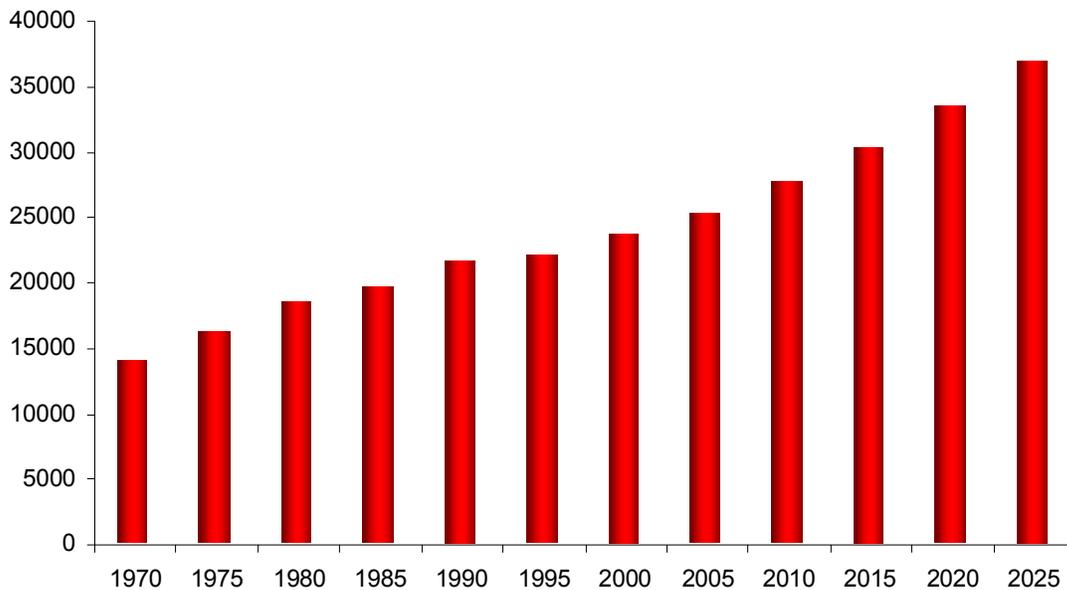
Finalmente, un aspecto que ha cobrado gran relevancia a nivel mundial es el referente a las afectaciones que los recursos energéticos fósiles generan sobre el ambiente y sobre la salud humana. A este respecto deben señalarse dos sectores que generan emisiones masivas a la atmósfera; el primero de ellos es la generación termoeléctrica, altamente dependiente del carbón, el petróleo y el gas natural, y el segundo sector que más emisiones genera es el transporte, que además de depender mayoritariamente de combustibles provenientes del petróleo, añade el carácter ubicuo

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

y disperso de los vehículos automotores, lo que hace que sus emisiones sean difíciles de controlar (The Economist, 2003).

La gravedad de esta situación queda manifiesta si se analizan las emisiones de bióxido de carbono (CO₂), el principal gas generador del efecto invernadero, ocasionadas por la producción y el uso de energía fósil y cuyo volumen se muestra en la figura 1.4. Como puede observarse, entre 1970 y el año 2000, las emisiones mundiales de CO₂ crecieron en 1.7% anual, mientras que se prevé que entre 2000 y 2025 la tasa de crecimiento será de 1.8% anual.

Figura 1.4. Emisiones de CO₂ por producción y uso de energía, 1970-2025
(millones de toneladas)



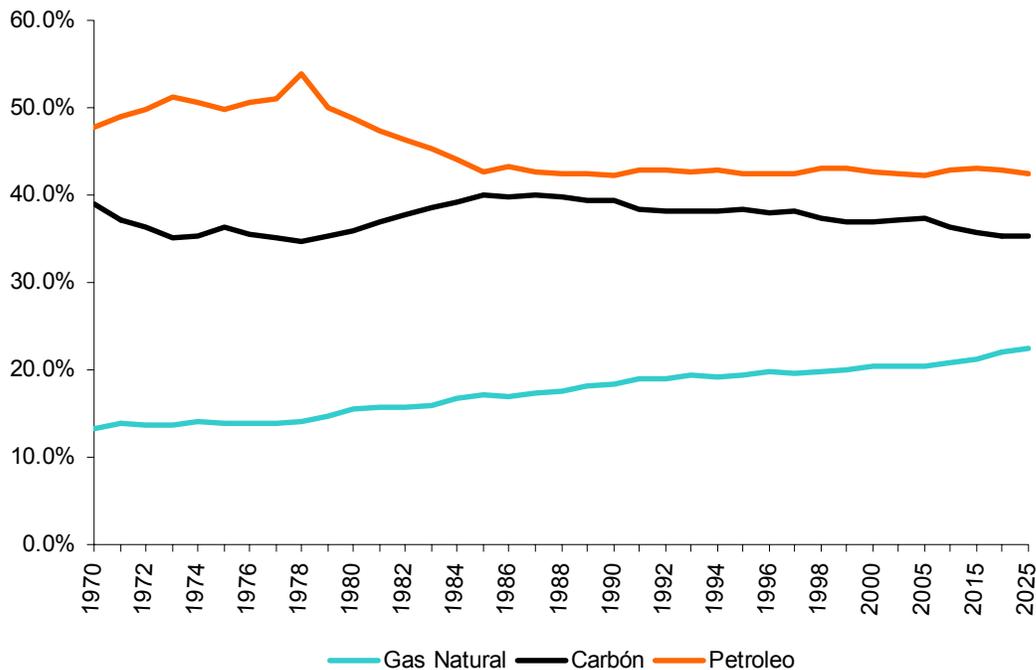
FUENTE: EIA, 2004

 Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

El aumento previsto en las emisiones de CO₂ provendrá principalmente del consumo energético de los países en desarrollo, dado su crecimiento poblacional más alto que en los países desarrollados, un mayor nivel esperado de vida y el aumento de las industrias intensivas en energía.

Otro aspecto importante que se debe considerar en esta problemática es el de las emisiones de CO₂ por tipo de combustible fósil. De acuerdo con la figura 1.5 el petróleo y el carbón seguirán siendo los combustibles con mayor participación en el volumen total de emisiones, siendo esta situación producida en gran parte por el consumo de los países en desarrollo, especialmente, por los mayores requerimientos para generación eléctrica y por la mayor dependencia del petróleo originada básicamente por la creciente demanda energética del sector transporte (EIA, 2004).

Figura 1.5. Emisiones de CO₂ por combustibles fósiles 1970-2025
(Participación porcentual)



FUENTE: EIA, 2004

Sin embargo, la figura 1.5 revela otra tendencia que hasta el momento no se ha enfatizado del todo: las emisiones de CO₂ provenientes de la quema de gas natural muestran una firme tendencia ascendente en su participación porcentual, que incluso contrasta con el comportamiento estático o incluso decreciente de las emisiones de los otros dos combustibles. Esto se explica por la participación cada vez mayor del gas natural en los procesos industriales y de generación eléctrica, favorecida por su condición de combustible “limpio”, al emitir una menor cantidad de CO₂ por unidad utilizada, y al surgimiento de nuevas tecnologías de generación eléctrica, más eficientes, económicas y más adaptables a los procesos de apertura del sector eléctrico a nivel mundial.

En un contexto de toma de decisiones rápidas respecto al problema del calentamiento global, el gas natural es hoy por hoy una de las mejores opciones posibles, ya que sin su inclusión en los procesos actuales de planeación energética a nivel mundial el pronóstico de emisiones de CO₂ presentado aquí sería mucho más pesimista, pero la figura 1.5 también muestra que no es una solución perfecta, ya que sólo disminuye la cantidad de CO₂ por unidad de energía producida, y si a eso se añade que el gas natural no es un recurso renovable, será necesario buscar desde ahora otras formas de enfrentar el problema del efecto invernadero.

Si la evidencia de la relación entre la quema de combustibles fósiles y la emisión de gases de invernadero es tan tangible, surge entonces la interrogante sobre si la dependencia respecto a ellos debe ser mantenida en el futuro. A este respecto, ISES (2002) señala que *“el periodo de las fuentes fósiles es una era, no una “edad”, y está altamente limitada en comparación con la evolución, pasada y futura de civilizaciones y sociedades”*. De acuerdo con esto, es fundamental que los gobiernos comiencen a visualizar los años que le quedan a la era de los

combustibles fósiles como una transición hacia otras formas de energía y en este contexto las fuentes renovables pueden ser un instrumento idóneo.

Bajo estas condiciones, las acciones públicas encaminadas hacia una transición a las energías renovables son conducidas por tres factores importantes:

1. Las restricciones ambientales surgidas recientemente y la mayor comprensión de los temas en este campo.
2. El atractivo de las oportunidades económicas y ambientales que se abrirán durante la transición hacia la energía renovable.
3. La necesidad de reducir los riesgos derivados de la condición de las instalaciones energéticas como blancos fáciles de ataques terroristas en determinados países, así como por las fallas en las tecnologías energéticas de las cuales dependen grandes sectores de población, como es el caso de las instalaciones de generación y distribución eléctrica.

1.4. EL PROTOCOLO DE KYOTO: ACUERDO HACIA UNA TRANSICIÓN POSIBLE

En esencia, el Protocolo de Kyoto convoca a una reducción de las emisiones de los gases de invernadero (CO₂, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, y hexafloruro de azufre) a los países desarrollados y a algunos países con economías en transición. Esta iniciativa, surgida en diciembre de 1997 bajo la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, podría tener en el futuro profundos efectos sobre el uso de combustibles de los países que lo ratifiquen. Cabe señalar que México firmó su adhesión a este protocolo como país miembro del Anexo II el 9 de junio de 1998 y la ratificó el 7 de septiembre de 2000.

Bajo los términos del Protocolo de Kyoto, los países se agrupan en dos anexos. El Anexo I incluye a la mayoría de los países industrializados, mientras que el Anexo II incluye a los países en vías de desarrollo. De esta forma, para el período de 2008 a 2012 los países del Anexo I se comprometerán a reducir sus emisiones totales de gases de invernadero en al menos 5% respecto a los niveles de 1990. Las metas cuantificadas de emisión son establecidas para cada país de manera diferenciada.

Para alcanzar estas metas de reducción, los países del Anexo I pueden implementar medidas internas de reducción de emisiones o los llamados “*mecanismos flexibles*” (llamados también “*mecanismos de Kyoto*” o “*mecanismos de mercado*”), diseñados para ayudar a los países a alcanzar sus metas de reducción de la manera más costo eficiente, a través del mercado. Descritos en forma sucinta, estos mecanismos consisten en lo siguiente:

- *Comercio internacional de emisiones.* Este mecanismo permite que a partir del 2008 los países del Anexo I transfieran algunas de sus emisiones permitidas hacia otros países del mismo anexo con base en el costo de un crédito de emisión. Por ejemplo, un país del Anexo I que en el año 2010 haya reducido sus emisiones de gases de invernadero en 10 millones de toneladas de CO₂ más allá de su meta establecida puede vender este “excedente” a otros países del Anexo I que no hayan podido cubrir su cuota de reducción.
- *Implementación conjunta.* Permite a los países del Anexo I invertir, a través de sus gobiernos u otras instituciones legales, en proyectos de reducción o secuestro de emisiones en otros países del Anexo I. De esta forma, las reducciones “externas” de emisiones representan una ganancia en créditos que se pueden aplicar para alcanzar sus metas internas de reducción de emisiones.

- *Mecanismos de desarrollo limpio.* Este mecanismo es similar al de la implementación conjunta, con la diferencia de que los países destinatarios de la inversión no pertenecen al Anexo I, lo que abre la posibilidad de que este tipo de proyectos beneficie a economías en desarrollo. Al estar las energías renovables fuertemente vinculadas con el uso de fuentes limpias, este mecanismo representa una gran oportunidad para impulsar su desarrollo en México. Actualmente nuestro país participa dentro de este mecanismo como receptor de inversión con el proyecto de energía eólica Cruz Azul y con el proyecto hidroeléctrico El Gallo, en Cutzamala, Guerrero (CDM Watch, 2003).

1.5. LA CONFERENCIA DE BONN Y LOS ENFOQUES DE POLÍTICA HACIA LAS ENERGÍAS RENOVABLES

La Conferencia Internacional para la Energías Renovables tuvo lugar en la ciudad de Bonn del 1º al 4 de junio de 2004, contando con la participación de 154 países, entre ellos México. La declaración política resultante estableció como puntos más importantes los siguientes:

1. Las energías renovables, *“...junto con una mayor eficiencia energética pueden contribuir significativamente al desarrollo sustentable, a proveer acceso a la energía, especialmente para los pobres, a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y a reducir la perjudicial contaminación del aire, creando así nuevas oportunidades económicas y aumentando la seguridad energética a través de la cooperación y la colaboración.”*
2. El compromiso de los países participantes de aumentar de manera sustancial y con carácter urgente la participación global de las energías renovables en la oferta energética.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

3. El compromiso para reducir a la mitad la proporción de personas que viven en la extrema pobreza y alcanzar la sustentabilidad ambiental para el 2015. Esto requerirá que los países en desarrollo tengan un mayor acceso a la energía. A este respecto, con una mejoría en el desarrollo de los mercados y en las formas de financiamiento, las energías renovables podrían satisfacer las necesidades de hasta mil millones de personas.
4. La necesidad de contar con marcos regulatorios y políticos coherentes, tomando en cuenta las diferencias entre países, con el objetivo de desarrollar los crecientes mercados de tecnologías de energías renovables y que reconozcan el papel del sector privado, lo que implica la eliminación de barreras, la competencia limpia y considerar las externalidades para todos los tipos de energía.
5. El considerar la crucial importancia de una mejor cooperación internacional para el desarrollo de capacidades, la transferencia de tecnología, las disposiciones gubernamentales efectivas a todos niveles, la responsabilidad por parte de las empresas, los microfinanciamientos y la cooperación público-privada, entre otras. También consideran que instituciones como el Banco Mundial y los bancos regionales de desarrollo deberían expandir significativamente sus inversiones en energías renovables y eficiencia energética, así como establecer objetivos claros en sus carteras en relación con las fuentes renovables de energía.
6. El apoyo al fortalecimiento de las capacidades humanas e institucionales en energías renovables a través de:
 - Desarrollo de capacidades para el análisis de políticas y el asesoramiento tecnológico, la educación y la integración de la dimensión de género.
 - Aumentar la conciencia de los beneficios de estas energías entre los tomadores de decisiones y las entidades financieras.
 - Promover la demanda de tecnologías de energías renovables.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- Apoyar el desarrollo del mercadeo, mantenimiento y otras capacidades de servicio.
 - Fomentar la colaboración nacional e internacional y la participación de las partes interesadas, incluidos grupos de mujeres, para favorecer el acceso a la información, las buenas prácticas y el intercambio.
7. Se recalca la necesidad de realizar más investigación y desarrollo sobre energías renovables, específicamente en países en desarrollo, enfatizando su carácter asequible y su costo reducido, y la innovación tanto en modelos de negocios y financiamiento como en modelos de efectividad y reducción de costos para los consumidores.
 8. El compromiso de los asistentes a la reunión de trabajar para lograr los objetivos planteados, ya sea conjunta o individualmente, emprendiendo las acciones planteadas en el *“Programa Internacional de Acción”* derivado de esta reunión y con otras medidas voluntarias. También acuerdan que se informe a la Comisión Sobre Desarrollo Sostenible de la ONU sobre estas acciones y que el seguimiento de los progresos se verifique según lo previsto en el Plan de Aplicación de Johannesburgo.
 9. El acuerdo de los participantes de trabajar en una *“red global de políticas”* junto con representantes del congreso, sector académico, autoridades locales y regionales, sector privado, instituciones internacionales, asociaciones industriales internacionales, grupos de consumidores, de mujeres, sociedad civil, etc. Esta red informal debería considerar lo ya realizado en el marco de las cooperaciones y las autoridades existentes, y promover el intercambio de experiencias en fuentes renovables.
 10. El compromiso de los asistentes a lograr progresos tangibles y a dar los siguientes pasos sustantivos en las sesiones 14 y 15 de la Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU, para lo cual, resuelven continuar el diálogo político iniciado en Bonn.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

La revisión de estos puntos evidencia la magnitud de la labor política, educativa y tecnológica que deberá realizarse a nivel nacional e internacional en los próximos años para lograr un mayor desarrollo de las energías renovables, sin embargo, constituye un excelente punto de partida para que estas acciones permitan el arranque armonioso y efectivo de una nueva transición energética (Internationale Konferenz für Erneuenbare Energien, 2004).

CAPITULO II

NUEVAS ENERGÍAS RENOVABLES

En este capítulo se hará énfasis sobre las nuevas fuentes renovables de energía, a saber, bioenergía, solar, geotérmica, pequeña, mini y microhidráulica, eólica, oceánica e hidrógeno las cuales se adaptan mejor a un sistema sustentable de producción de energía debido a sus ventajas ambientales, sociales, de impulso al crecimiento económico regional y local, desarrollo científico y tecnológico y desarrollo industrial, que a continuación presentaremos:

2.1. BIOENERGÍA

La biomasa es la materia orgánica contenida en productos de origen vegetal y animal (incluyendo los desechos orgánicos) que puede ser capturada y usada como una fuente de energía química almacenada.

La bionergía resulta cuando los combustibles de la biomasa de reciente origen biológico son usados para fines energéticos. Los productos secundarios en estado sólido, líquido y gaseoso son a menudo utilizados como portadores de energía y más tarde empleados para proveer biocalor, bioelectricidad o biocombustibles. Los biocombustibles se refieren específicamente a los combustibles obtenidos de la biomasa y que se usan en el sector transporte. Las especies anuales y perennes que son cultivadas específicamente para la producción de materiales energéticos en forma sólida, líquida o gaseosa son denominadas "*plantaciones energéticas*".

En cuanto a sus características generales, la bioenergía tiene ventajas en cuanto a la densidad energética, la cualidad de ser transportable y su no intermitencia porque es por sí misma una forma de almacenamiento de energía, y es completamente despachable ya que pueden utilizarse en el momento en que se le necesite.

La bioenergía puede proveer una amplia variedad de servicios (calefacción, alumbrado, confort, entretenimiento, información, etc.) a través de su uso para la producción de combustibles que son flexibles en el sentido de adaptarse a las diferentes necesidades de energía. Su composición química es similar a la de los combustibles fósiles, los cuales se originaron a partir de la biomasa hace millones de años, lo que además de su uso energético, crea la posibilidad de originar a partir de la biomasa, los que se denomina los biomateriales que pueden virtualmente sustituir a todos los productos que actualmente se derivan de la industria petroquímica. Finalmente, el recurso disponible de la biomasa surge de una amplia variedad de fuentes y puede además constituirse en una fuente renovable de hidrógeno.

El potencial de la bioenergía es tan significativo que la Unión Europea lo ha identificado como una contribución importante para alcanzar su objetivo del 12% de la producción total de energía mediante fuentes renovables, así como la meta ambiciosa de reemplazar por biocombustibles el 20% de los combustibles usados en el transporte para el año 2020.

Actualmente, la bioenergía en estado sólido representa un 45% de la energía primaria renovable en los países miembros de la OCDE. A nivel global, cerca de 84 TWh de electricidad fueron generados por medio de bioenergía en 2002, correspondiendo aproximadamente la mitad a los Estados Unidos de América, 11.3 TWh a Japón y 8.5 TWh a Finlandia. Asimismo, en este mismo año, fueron producidos 565 PJ para generación de calor a partir de la bioenergía (incluyendo cogeneración), 245 PJ de energía en forma de gases y 227 PJ de biocombustibles.

Dado que la bioenergía puede sustituir en cierta forma a la infraestructura de producción de los combustibles fósiles, se estima que la contribución de la biomasa para el suministro de energía en el mundo se incrementará de 59 a 145

EJ para 2025 y de 94 a 200 EJ en el 2050. La cantidad total de energía de residuos potencialmente cosechables como los forestales, cultivos agrícolas y desechos animales es considerable y cubre una gran proporción del suministro de energía en algunas zonas rurales.

Disponibilidad de tierras para la producción de la bioenergía

Se estima que la superficie de tierra que se necesitaría para la producción de bioenergía en el año 2050 estará disponible sólo en algunas regiones. Un factor decisivo para su aprovechamiento será la disponibilidad de agua, más que la disponibilidad de tierras. De las 2.495 Gigahectáreas (Gha) del área total con potencial para el cultivo, 0.897 Gha se utilizaron para el cultivo de alimentos y fibras en el año 1990. El incremento de la población mundial requerirá 0.416 Gha adicionales en el 2050 quedando disponible 1.28 Gha para el aprovechamiento de la bioenergía. El potencial técnico de la producción de bioenergía, por ejemplo, a través de plantaciones energéticas con base a esta disponibilidad de tierra es de 396 EJ/Año tomando como base las tendencias de crecimiento y reservas de agua conocidas.

Las plantaciones energéticas (ver glosario de términos) son importantes para las estrategias energéticas de largo plazo en el sentido de que pueden diseminarse lo suficiente, modificando con ello considerablemente el patrón de suministro de energía a nivel mundial. Las especies de plantas que pueden ser usadas como plantaciones energéticas y posteriormente ser utilizadas con fines bioenergéticos son tan diversas que pueden virtualmente crecer en cualquier parte del mundo. Las más adecuadas necesitarían además ser fáciles de cosechar usando maquinaria convencional, de lo contrario desarrollar equipamiento especializado, lo que sería una opción muy costosa. Especies de bosques de madera, tales como el sauce, álamo y eucalipto son ampliamente usados como plantaciones energéticas.

Grandes cosechas de pastos vegetativos, cultivos forestales de rotación, y cultivos de especies desarrolladas a escala comercial, pueden producir más de 400 GJ/ha/año bajo buenas condiciones de crecimiento, conduciendo a un balance de energía positivo (materia prima/energía entregada) en la totalidad del sistema. La selección adecuada de especies que se adapten a las condiciones climáticas y de suelo puede conducir incluso al levantamiento de mayores cosechas (Sims et al., 2004).

El papel que jugará el desarrollo de los cultivos modificados genéticamente en el futuro no puede ser ignorado. Desarrollar una variedad de plantas que tengan la capacidad de fijar el nitrógeno, consumir relativamente poca agua, que sean fáciles de cosechar, que puedan crecer extensivamente para producir proteínas, carbohidratos y fibras, y que puedan ser procesados mediante una “biorefinería” en una amplia variedad de productos industriales, comestibles y energéticos parece ser una realidad cercana.

Biocombustibles para el transporte

Los biocombustibles líquidos, principalmente biodiesel y bioetanol, son procesados a partir de los cultivos agrícolas y de otras materias primas renovables de base. El bioetanol puede además ser producido a partir del material lignoceluloso, y el aceite pirolítico puede ser el resultado de un avanzado proceso de conversión de cualquier existencia de material de la biomasa. El etanol representa una importante alternativa como combustible automotriz, ya que reporta un índice de octano superior al de la gasolina y tiene una presión de vapor inferior, lo que da como resultado menores emisiones evaporativas.

Actualmente la mayor parte del biodiesel se obtiene del aceite de colza y de girasol, mientras que el bioetanol es producido principalmente a base de trigo, maíz, remolacha de azúcar, sorgo dulce o caña de azúcar.

En el año 2000 se produjeron aproximadamente 18 millones de toneladas de biocombustible líquido a nivel mundial, correspondiendo a la Unión Europea 0.7 Mt de biodiesel a base de aceite de colza y 0.3 Mt de bioetanol de cereales y remolacha de azúcar, los Estados Unidos de América produjeron 6 Mt de bioetanol a base de maíz, y Brasil 10.7 Mt de bioetanol de la caña de azúcar. Las expectativas de la producción mundial de biocombustibles para el 2020 se calculan por encima de las 20 Mt/año.

Residuos agrícolas

Una gran cantidad de residuos de cultivo son producidos anualmente en el mundo y a menudo son desechados. Estos incluyen desechos de arroz, bagazo de caña, cáscara de coco, cáscara de nuez, aserrín y desechos de cereal. Estos desechos tienden a ser relativamente bajos en contenido de humedad (10-30%) y por lo tanto son más adecuados para la combustión directa que para la fermentación anaeróbica.

Los desechos del arroz se encuentran entre los residuos agrícolas más comunes. Estas representan del 20% al 25% de los granos de arroz cosechados sobre la base de su peso y son usualmente retirados en el centro de procesamiento.

Bagazo

La caña de azúcar es una de las plantas con una mejor eficiencia fotosintética y requiere muy pocos suministros de herbicidas y pesticidas. Si crece o no en una forma verdaderamente sustentable es debatible, pues se requiere adicionar nutrientes al suelo para reemplazar los que fueron removidos con la cosecha y éstos a menudo provienen de fertilizantes químicos.

Los ingenios azucareros desde hace muchas décadas tienen experiencia en la logística para el transporte y manejo de grandes volúmenes de biomasa, en concreto alrededor de 300,000 ton/año. Cada tonelada de caña de azúcar procesada en los ingenios produce alrededor de 250 Kg. de bagazo.

En países donde el sector eléctrico es privado, algunas compañías azucareras se han convertido en productores independientes de energía (a menudo en consorcios con los proveedores locales de energía). De esta manera ahora incineran todo el bagazo obtenido en plantas de cogeneración de alta eficiencia y exportan una cantidad importante del excedente de energía al sistema eléctrico.

La incineración del bagazo, junto con la recolección del desperdicio de caña que normalmente es quemado antes de la cosecha, podría proveer combustible de la bioenergía hasta un total de 50 GW de la capacidad de generación a nivel mundial.

Desechos de cereales

Los pequeños cultivos de cereal producen alrededor de 2.5 a 5 ton/ha de desecho, dependiendo del tipo, variedad y época de cultivo. Cuando se trata del maíz y el sorgo, pueden ser obtenidas mayores cantidades. Estos residuos del cereal varían del 10 al 40% de humedad y tienen un valor calorífico de entre los 10 y 16 MJ/Kg. En términos comparativos, una tonelada de desechos de cereal puede producir la misma cantidad de energía que el equivalente a aproximadamente 0.5 toneladas de carbón ó 0.3 toneladas de petróleo.

Dinamarca cuenta con miles de instalaciones que utilizan la quema de estos residuos para brindar servicios de calefacción en zonas públicas (3-5 MW), procesos industriales (1-2 MW) y calefacción en hogares (10-100 KW). Respecto a las aplicaciones usadas en las mismas granjas, estas se orientan al secado de

granos o a la calefacción de establos o lugares donde se encuentran los animales, además de proveer servicios domésticos de calefacción y calentamiento de agua.

Desechos animales

El estiércol de cerdo, estiércol de otros tipos de ganado y los desechos de pollo son fuentes útiles de bioenergía, pues estos animales a menudo son criados en áreas confinadas, las cuales producen una considerable concentración de materia orgánica. Anteriormente estos desechos animales eran recuperados y vendidos como fertilizantes o simplemente esparcidos sobre la tierra de cultivo. Sin embargo, los controles ambientales más rigurosos referentes a la contaminación del agua han obligado a un mejor manejo de los desechos. Esta situación proporciona incentivos para considerar la fermentación anaeróbica de los materiales, sin embargo el volumen de suministro anual, las variaciones de temporada y características específicas del recurso deben ser ponderadas cuidadosamente antes de desarrollar una planta.

Desechos municipales

Los desechos orgánicos sólidos originados en áreas urbanas representan una fuente considerable de energía. Los desechos sólidos municipales y su manejo en los Estados Unidos representan un buen ejemplo. De las 208 millones de toneladas recolectadas en 1995 aproximadamente solo el 14% fueron no combustibles o no fermentables. El tratamiento de estos desechos en los Estados Unidos y en otras partes se efectúa por recuperación, combustión o relleno sanitario, pero solo una pequeña parte es procesada mediante plantas incineradoras de desechos municipales principalmente en los países miembros de la OCDE.

El gas producto del manejo de la basura en los rellenos sanitarios consiste principalmente de metano y CO₂, el cual es el resultado del decaimiento de los desechos orgánicos. El metano tiene potencial como combustible, ya sea para generar electricidad, o como combustible para el transporte. Su recolección y uso además elimina la liberación en la atmósfera de un potente gas de efecto invernadero.

Se estima que para el año 2020, el mercado mundial de este tipo de proyectos será el equivalente a unos 5,500 MW, con lo cual se generarían alrededor de 22,000 fuentes de empleo directo, de los cuales cerca de unos 10,000 estarían en la actual Unión Europea. En términos monetarios, el valor de este mercado se estima de 1,000 a 2,000 millones de euros al año, de los cuales de 500 a 900 millones de euros serían invertidos en la Unión Europea.

Una forma de fermentación anaeróbica similar al gas generado en los rellenos sanitarios, pero producida bajo condiciones más controladas involucra la descomposición de los desechos orgánicos por una bacteria en un ambiente libre de oxígeno. Esta produce un gas rico en contenido de metano y que puede ser usado para generar calor y/o electricidad. El biogas resultante puede ser utilizado directamente en una caldera de gas modificada, o bien usado para hacer funcionar motores de combustión interna. El proceso además produce un digestor el cual puede ser separado en componentes líquidos y sólidos. El elemento líquido puede ser usado como fertilizante y el elemento sólido podría ser usado como un acondicionador del suelo o además procesado para producir una composta de mayor contenido orgánico.

El costo en la generación de electricidad a través de los desechos sólidos municipales y otras fuentes de biomasa es razonablemente aceptable cuando se compara con el de la energía eólica; y es mucho menor que el de las aplicaciones solares.

Impacto ambiental

El mayor beneficio ambiental derivado del uso de la bioenergía para desplazar a los combustibles fósiles es la reducción en las emisiones de gases de invernadero. Otros beneficios ambientales incluyen la reducción de las emisiones locales, un mejor aprovechamiento de los recursos limitados, mejorar la biodiversidad, y la protección del hábitat natural y de los paisajes.

A pesar de estas ventajas, bajo ciertas circunstancias, el uso de estos combustibles puede tener impactos ambientales negativos, como por ejemplo, la emisión de aldehídos producto del uso del bioetanol. Además algunas cuestiones todavía deben ser resueltas mediante el análisis detallado de ciclos de vida que demuestre si los balances energéticos son positivos para ciertos proyectos.

La producción continua de plantaciones de bosques y plantaciones energéticas podría reducir los niveles de fertilidad de los suelos, disminuir el flujo en el suministro de agua, así como conducir al incremento en el uso de agroquímicos. Para evitar lo anterior, debería practicarse el reciclaje de nutrientes a través del esparcimiento de las cenizas producto de la combustión y los métodos de cultivo sustentables.

La recolección y transporte de la biomasa resulta con frecuencia en el incremento en el uso de vehículos, y en consecuencia, en mayores emisiones de gases en la atmósfera junto con un mayor uso y desgaste del sistema carretero. La reducción de las distancias entre los centros de producción de la biomasa y las plantas de conversión minimizaría los impactos negativos del transporte.

Un desafío mayor consiste en administrar en forma sustentable el recurso de la biomasa, de tal forma que se pueda garantizar a futuro el suministro de bioenergía y biomateriales con un mínimo de requerimientos de suministro de agua, agroquímicos, fertilizantes o combustibles fósiles.

Beneficios sociales

A pesar de que los beneficios ambientales de las energías renovables, incluyendo a la bioenergía, son ampliamente aceptados, los beneficios socioeconómicos no están muy bien entendidos. Los beneficios sociales de las modernas aplicaciones de la biomasa están relacionados con el mejoramiento en la calidad de vida; disminución en la emisión de contaminantes nocivos para la salud humana; oportunidades locales de empleo; satisfacción por el dominio de la comunidad y cohesión social.

En general, los sistemas de energías renovables requieren de más fuerza de trabajo que los sistemas a base de combustibles fósiles y en una mayor proporción se requiere mano de obra más especializada. Operar, mantener en funcionamiento y proveer el combustible en una planta bioenergética, a menudo genera oportunidades de empleo, principalmente en áreas rurales. Las fuentes de empleo generadas en proyectos bioenergéticos difieren de los generados en proyectos eólicos, hidráulicos y solares en que las actividades principales se desarrollan durante la manufactura de las plantas, su instalación y mantenimiento. Proporcionar el suministro del combustible de la biomasa y su transporte a la planta de conversión es un componente esencial adicional de la bioenergía.

2.2. ENERGÍA SOLAR

La radiación solar que se recibe en la superficie terrestre puede convertirse en calor, electricidad o energía mecánica mediante muy diversas tecnologías.

Potencial mundial

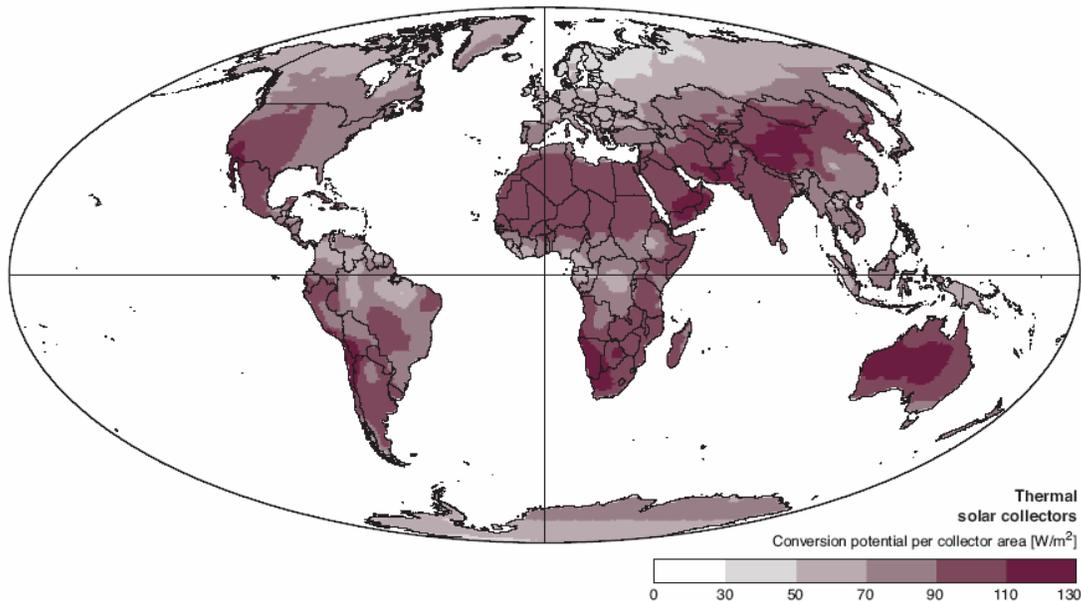
La energía solar es un recurso intermitente astronómica y climatológicamente, su intensidad varía en el transcurso del día debido a la

rotación de la Tierra sobre su eje en 24 horas y también a lo largo del año debido a la traslación de la Tierra alrededor del Sol en 365.4 días. La intermitencia climatológica se debe sobre todo a la nubosidad, lo que impide la captación de la luz solar directa, pero permite la difusa.

La energía solar que se recibe en un día en un cuadrado de 28 km de longitud por lado situado en el desierto de Sonora, y cubierto de celdas solares fotovoltaicas de un 10% de eficiencia, satisfaría la demanda promedio diaria actual de energía eléctrica de todo México (550 GWh/día).

Pero no en todo el planeta llega la radiación solar con la misma intensidad, si dividimos al planeta en seis zonas de insolación, casi todo México se encuentra en la segunda zona de mayor insolación. Ver figura 2.1.

Figura 2.1. Distribución global del potencial de conversión térmico solar mediante colectores solares



FUENTE: Grasi, H. et al (2004).

La energía solar, puede utilizarse mediante diversas tecnologías para secado de productos agrícolas, refrigeración de productos perecederos, desalinización de agua y calentamiento de fluidos (agua, aceites, aire, etc.). Según su uso a éstos se les clasifica en sistemas activos o sistemas pasivos. Los sistemas pasivos son los que no necesitan partes mecánicas móviles para su funcionamiento, y se utilizan principalmente en la climatización de edificaciones y viviendas. Los sistemas activos son los que requieren de artefactos o mecanismos captadores donde se aprovecha la radiación solar para calentar un fluido de trabajo. Dependiendo de la temperatura a la que se necesite calentar el fluido, los sistemas fototérmicos activos pueden concentrar o no la radiación solar. Los sistemas de generación eléctrica solares pueden usar la parte térmica, la parte luminosa o ambas para producir electricidad dependiendo de la tecnología. Los sistemas que utilizan exclusivamente la térmica lo hacen a través de concentración óptica de la radiación solar en un punto o en una línea. Los sistemas que aprovechan exclusivamente la energía luminosa son los que utilizan celdas fotovoltaicas para convertir la luz directamente en energía eléctrica. A continuación se describen las tecnologías correspondientes.

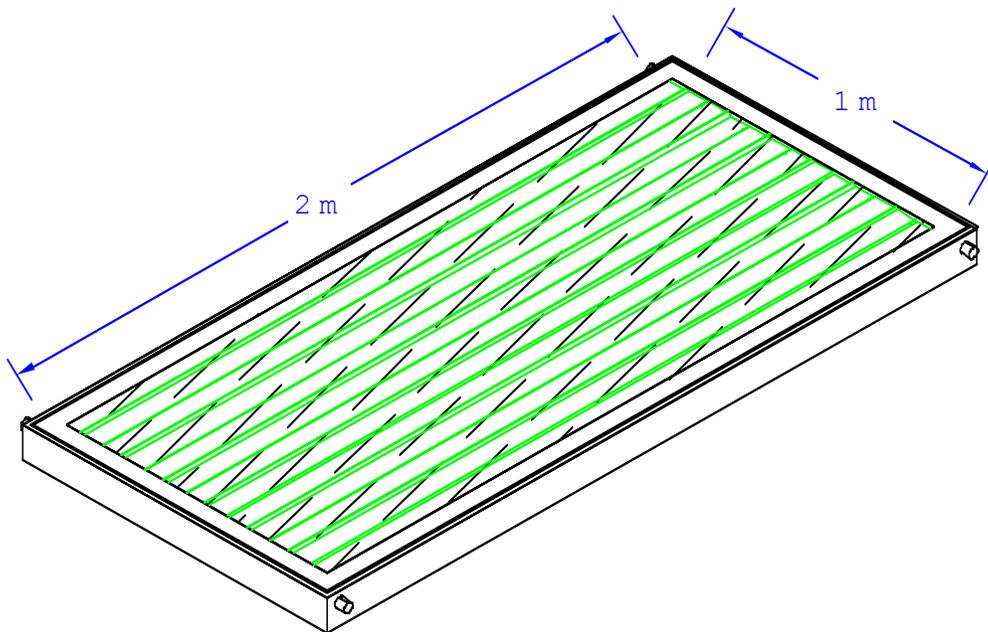
Colector Solar Plano

Es el dispositivo fototérmico posiblemente más empleado en el mundo para calentamiento de fluidos se le denomina *colector solar plano* o simplemente *colector solar*. Se trata de una tecnología madura, en etapa de comercialización masiva, que se utiliza para el aprovechamiento de calor a temperaturas menores a 100 °C.

Un *colector solar plano*, figura 2.2, es un intercambiador de calor por radiación, que consiste en una superficie plana metálica, o absorbedor, fabricado usualmente de cobre, cuya superficie expuesta al sol es oscurecida con pintura negra o un recubrimiento selectivo para aumentar su absorción de radiación

térmica solar directa y difusa. También consta de un arreglo de tubos soldados al absorbedor. La configuración más frecuente de absorbedor se caracteriza por dos tubos distribuidores, uno para el agua fría de entrada y otro para el agua caliente de salida; estos tubos se unen entre sí por tubos transversales de menor diámetro provistos de “aletas” que consisten en una lámina de cobre, preferentemente soldada a lo largo de cada uno, y cuyo objetivo es aumentar la superficie expuesta a la radiación, ver figura. 2.2. Este conjunto se coloca en una caja con material aislante por debajo del absorbedor y uno o dos vidrios planos por delante del mismo.

Figura 2.2. Colector solar plano de 2 m², compuesto por placa absorbadora encapsulada en caja metálica con cubierta de vidrio por la parte superior y aislante en la parte inferior.



La radiación solar capturada provoca que la superficie plana del absorbedor (aletas) se caliente y transmita calor por conducción a los tubos soldados a la misma. Por el interior de los tubos circula agua cuya temperatura se incrementa al entrar en contacto con ellos. La cubierta de vidrio reduce las pérdidas de calor por convección del absorbedor, y al mismo tiempo permite el paso de prácticamente toda la radiación solar que incide en el colector, creando un efecto invernadero con el absorbedor.

Este colector solar plano se acopla con un recipiente aislado térmicamente para el almacenamiento de agua caliente, al que se le llama comúnmente “termotanque”, para formar un calentador solar de agua. Cuando la diferencia entre la altura de la parte superior del colector y la parte inferior del termotanque es la adecuada, (entre 30 y 50 cm), y además se cuenta con una instalación hidráulica que mantenga llenos ambos dispositivos², se establece una circulación del agua por convección natural entre el colector y el termotanque, lo que se conoce como “efecto termosifónico”. El agua calentada por el sol, al ser más ligera que el agua fría, sube del colector y se almacena en la parte superior del termotanque. Simultáneamente, el agua fría del termotanque, se desplaza hacia la parte inferior del colector para calentarse a su vez, es decir, se establece un ciclo convectivo, en el cual el agua se recircula sin necesidad de bombeo mecánico en localidades donde no se presentan temperaturas abajo de cero grados Celsius.

Un calentador solar doméstico con un colector solar plano de 2 m², instalado correctamente puede proporcionar en un día patrón³ alrededor de 150 litros de agua a 45 °C.

² Puede ser con un sistema hidroneumático o por gravedad, mediante un tinaco colocado a una altura mayor que el calentador solar.

³ 18.2 MJ/m² distribuidos en un período de 10 hrs., en un día promedio anual en la Ciudad de México se reciben 17.7 MJ/m²

Sistemas Fototérmicos de Concentración

Estos sistemas se obtienen cuando la radiación solar directa se refleja y se concentra en un punto, una línea o un plano, el aumento de energía en el área focal es directamente proporcional a la concentración, y la temperatura puede aumentar desde cientos de grados Celsius hasta miles en casos especiales.

La aplicación más extensa de sistemas de concentración solar se da en la producción de electricidad *fototérmica* mediante plantas solares termoeléctricas donde la radiación absorbida calienta un fluido térmico (aceite o sal fundida). Este calor puede ser subsecuentemente utilizado para impulsar motores tipo Stirling o turbinas de vapor que a su vez impulsan a generadores de electricidad por inducción.

Hasta la fecha se han desarrollado tres tecnologías diferentes de generación solar *fototérmica*: las *plantas de concentración mediante canal parabólico*, donde superficies reflectoras en forma de parábola enfocan la radiación en una línea donde se encuentra un tubo absorbedor que lleva en su interior un aceite térmico. El aceite térmico puede llegar a calentarse hasta 350-400 °C, luego, en un intercambiador de calor se produce vapor a alta presión el cual alimenta a una turbina de vapor convencional. Actualmente en California, Estados Unidos se encuentran en funcionamiento nueve plantas con una capacidad instalada conjunta de 354 MW desde hace más de 10 años.

La tecnología solar de *Torre Central* consiste de un gran arreglo de espejos movibles que siguen el movimiento del sol y enfocan su radiación en un receptor instalado en lo alto de una torre, donde el fluido de transporte de calor (agua, sal o aire) es calentado entre 500 y 1,000 °C. Debido a las altas temperaturas esta energía puede ser acoplada directamente a una turbina de gas o a una planta de ciclo combinado. Se han propuesto plantas de 200 MW de capacidad y construido plantas piloto de 80 MW.

Finalmente, la tecnología de *plato parabólico* utiliza espejos parabólicos y tienen un mecanismo de seguimiento solar. Estos dispositivos concentran la radiación solar en el foco donde se encuentra un absorbedor con un fluido térmico el cual se calienta y puede llegar a temperaturas en el rango de 600 a 1,200 °C. Estos sistemas son usualmente pequeños (10 kW de capacidad nominal), por lo tanto son convenientes para aplicaciones descentralizadas.

Se han desarrollado sistemas de almacenamiento mediante el uso de aceites térmicos y sales fundidas que pueden llegar a almacenar calor durante días, brindándole la confiabilidad necesaria al sistema de generación eléctrica para que funcione sin una planta de respaldo convencional.

Cuando sea necesario, también puede actuar como una planta de respaldo que funcione con biocombustibles, esto permitiría el funcionamiento de grandes centrales eléctricas (más de 100 MW) que únicamente utilicen energías renovables. Estas plantas también pueden operar para generar electricidad y mediante el aprovechamiento del calor de desecho, por ejemplo, para la desalinización de agua, o para uso industrial de calor de alta temperatura. Con estos sistemas de cogeneración, la eficiencia solar puede llegar hacer del 85% (Grasi, *et al*, 2004).

Aplicaciones y beneficios de los sistemas fototérmicos

Los colectores solares planos se utilizan para el calentamiento de agua en el sector doméstico, recreativo calentando agua para albercas, precalentamiento de agua en el sector industrial y en servicios como hospitales, hoteles y balnearios. También se usan para calentar otros fluidos como aceites térmicos, aire y gases de alto peso molecular. Asimismo, para el secado de madera y otros productos agroforestales, acondicionamiento de aire, calefacción ambiental y refrigeración.

Los calentadores y las plantas termoeléctricas solares son ambientalmente benignos siempre y cuando se utilicen materiales amigables con el medio ambiente para la transferencia de calor. En regiones muy soleadas las plantas tipo torre central y las de canal parabólico son las que mejor relación costo beneficio han mostrado con respecto a otras formas de generación solar de electricidad.

Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente la radiación solar visible en electricidad⁴. Al dispositivo unitario donde se lleva a cabo el efecto fotovoltaico se le llama *celda solar*, o *celda fotovoltaica* (ver figura 2.3). El material semiconductor más utilizado para la construcción de fotoceldas es el silicio, produciendo densidades de corriente entre 10 y 40 miliamperes (mA) a voltajes entre 0.5 y 1 volt de corriente directa (CD). Al unirse varias celdas en serie o paralelo, se forman los llamados *módulos fotovoltaicos*, los cuales se comercializan por su potencia pico de 2 a 100 Watts pico (Watts generados bajo una insolación de 1,000 W/m², a una temperatura ambiente de 20 °C). Para satisfacer los requerimientos de una carga específica, los módulos se interconectan entre sí en serie y/o paralelo para formar un *arreglo* fotovoltaico (Manzini, *et al*, 2000).

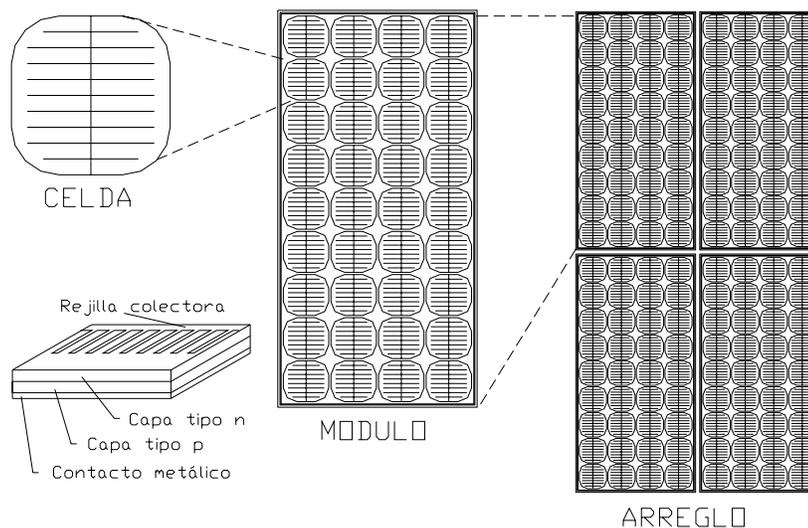
Un *Sistema Fotovoltaico (SFV)* es un generador de electricidad que satisface cualquier patrón de consumo requerido para una carga específica, en función del patrón de insolación disponible en un lugar en particular. Su complejidad depende de las características de la carga. Según la forma de electricidad entregada los sistemas fotovoltaicos (SFV) se dividen en sistemas de corriente alterna (CA) o de corriente directa (CD).

⁴ Al incidir el fotón los electrones de los átomos de silicio pasan de un nivel de energía a otro, absorbiendo la energía del fotón generando así una corriente eléctrica.

Aplicaciones

Usualmente, las aplicaciones en que los SFV solían representar la mejor opción técnico-económica eran para satisfacer los requerimientos energéticos en lugares remotos: iluminación doméstica, bombeo de agua, alumbrado público, TV rural, esterilización de agua para uso doméstico, equipos de telemetría, radiotelefonía rural, señalización y telecomunicación en carreteras, estaciones repetidoras, refrigeración de vacunas y medicinas, boyas y plataformas marinas, campismo, protección catódica y equipos electrónicos de baja potencia, entre otros. Sin embargo, actualmente, estos sistemas se han vuelto una opción viable en las ciudades para alumbrado en parques públicos, suministro de energía a teléfonos de emergencia, fachadas de edificios, celdas con forma de teja para casas, y plantas de generación de electricidad distribuida (centrales conectadas a la red) y para horas pico diurnas.

Figura 2.3. Dispositivos fotovoltaicos en distintos niveles de agregación. Celda, módulo y arreglo. Se muestra también el diagrama esquemático de una celda solar típica.



Esto ha sido posible gracias a que la tecnología de celdas fotovoltaicas ha evolucionado reduciendo sus costos por Watt instalado, éstos han disminuido de 210 dólares a principios de los años 80 hasta 6 dólares actualmente, y la tendencia sigue hacia una mayor disminución en un futuro cercano.

Mundialmente, a partir de 1998 se han producido e instalado alrededor de 3,000 MW fotovoltaicos, a una tasa promedio de crecimiento anual de 23%. En el año 2003 se produjeron 744.1 MW aumentando la producción del año anterior en 32.4% (Maycock, 2004).

2.3. EÓLICA

Características

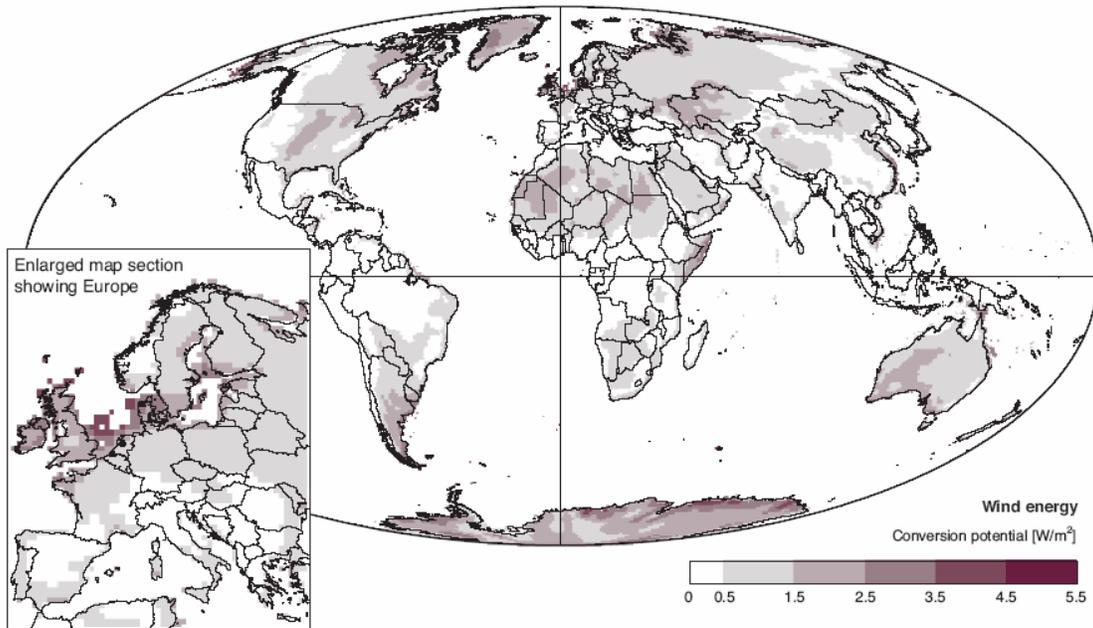
El calentamiento no uniforme de la atmósfera y de la superficie terrestre debido a la radiación solar, resulta en una distribución desigual de presión en la atmósfera, lo que genera el movimiento de masas de aire, es decir el viento.

Debido a la dependencia de la radiación solar y a las diferencias de presión a lo largo de todo el planeta, el viento es intermitente y tiene dos patrones principales: el estacional y el diario. El patrón estacional describe la intensidad del viento a lo largo del año, mostrando los meses de menor, media o máxima intensidad. Los patrones diarios de viento, típicos de cada estación, nos muestran los posibles periodos horarios de déficit o exceso de generación de acuerdo al patrón de demanda eléctrica estacional o diaria respectivamente (Caldera, 2000).

Potencial mundial

Para poder aprovechar la energía del viento es necesario que su intensidad tenga pocas variaciones y sea la adecuada para el generador. Se considera que sólo los vientos con velocidades entre 18 y 45 kilómetros por hora (KPH) son aprovechables. En la figura 2.4 se observa un mapa donde se ilustra el potencial mundial de energía eólica.

Figura 2.4. Distribución global del potencial de conversión de la energía del viento tanto en la superficie marina como en la terrestre.



FUENTE: Grasi, H. *et al*, (2004).

De acuerdo con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE, 1999) la implantación de la generación eoloeléctrica en el mundo se ha mantenido en crecimiento desde 1980 y a finales de 1998 ya existían 8,441 MW eoloeléctricos conectados a sistemas eléctricos convencionales, destacándose el liderazgo de Alemania, Estados Unidos, Dinamarca, India y España, en donde se encuentra

desarrollado el casi 82% de esta capacidad eoloeléctrica. El potencial de aplicación de esta nueva fuente renovable de energía es alto como lo confirma que en Europa se han realizado varios estudios que coinciden en que mediante la generación eoloeléctrica sería posible suministrar de 10 a 20 % de su consumo de energía eléctrica (IIE, 1999).

Centrales eoloeléctricas

Cuando el viento hace girar grandes aspas conectadas mediante un eje a un generador de electricidad, la energía cinética producida se convierte en energía eléctrica. A este dispositivo se le llama *aerogenerador* y normalmente va montado sobre una torre.

Los aerogeneradores se clasifican, según la posición del eje de las aspas, en verticales u horizontales y aprovechan la velocidad de los vientos comprendidos entre 5 y 20 metros por segundo. Por debajo de este rango el aerogenerador no funciona y si la velocidad excede el límite superior, el aerogenerador debe pararse para evitar daños a los equipos.

En la mayoría de los países del mundo los aerogeneradores pueden operar sólo un 30% del tiempo, sin embargo, en la región de la Ventosa, México este porcentaje, que define al *factor de planta* (ver glosario de términos), está entre el 50 y 60%.

Una central eólica se constituye de varios aerogeneradores interconectados en un mismo sitio.

Impacto ambiental

El empleo de la energía eólica ofrece varias ventajas ambientales que a continuación se mencionan (IIE, 1999):

Un importante potencial de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, precursores de lluvias y de ozono. La Comisión Europea estima, por ejemplo, que la operación de 10,000 MW de origen eólico evitaría la emisión de 20 millones de toneladas de CO₂ por año, lo que a su vez representaría un ahorro de 3,500 millones de dólares por la no quema de combustibles fósiles.

La emisión de ruido acústico puede llegar a ser un inconveniente cuando los sistemas eoloeléctricos se instalan cerca de lugares habitados. Esto ha llegado a representar una limitante en países que tienen poca extensión territorial. Sin embargo para no ocasionar esta molestia de ruido, algunos países han emitido normas ambientales que limitan su cercanía a lugares habitados.

Un impacto que se le atribuye a los sistemas eoloeléctricos es el visual en tanto que se argumenta que estos sistemas dañan el paisaje. Este impacto, al igual que en el caso de ruido, depende en buena medida de la cercanía de los sistemas eoloeléctricos con las poblaciones y de la percepción de las personas.

Otro impacto más de la instalación de sistemas eoloeléctricos es el que tiene sobre las aves al chocar contra los rotores y las estructuras de los aerogeneradores, al igual que sobre el hábitat y las costumbres de las aves.

Impacto social

El empleo de la energía eólica es una actividad que tiene un importante potencial para la creación de nuevas fuentes de empleo, sobre todo en la empresa

mediana y pequeña (IIE, 1999). Para finales de 1996, la Asociación Europea de Energía Eólica estimó que en Europa ya existían más de 20,000 personas trabajando en la industria eoloeléctrica.

En cuanto a la fabricación e instalación de aerogeneradores, el indicador para creación de fuentes de empleo es de 6 personas por año, por nuevo MW. Para la operación y mantenimiento se habla de un potencial de generación de empleo de 100 a 450 personas por año por cada TWH generado. Se estima que por cada puesto de trabajo en la fabricación, instalación, operación y mantenimiento de aerogeneradores se crea al menos otro puesto de trabajo en sectores asociados tales como asesorías, investigación, finanzas, etc. (IIE, 1999, p.p. 40, 41).

Conjuntamente con este impacto en términos de creación de empleos, la disponibilidad del recurso eólico abre la posibilidad de establecer una industria eólica con importantes beneficios económicos y ambientales, que puede ser el catalizador de un desarrollo regional o local.

2.4 ENERGÍA HIDRÁULICA

Características

La forma más común de hidroelectricidad consiste en el aprovechamiento de la energía potencial al embalsar un río, debido a la diferencia de alturas se tiene agua a alta presión que es conducida hacia una turbina hidráulica desarrollando en la misma un movimiento giratorio que acciona un alternador donde se genera una corriente eléctrica.

Todas las plantas hidroeléctricas utilizan el agua pluvial como recurso renovable, sin embargo la construcción de grandes plantas hidroeléctricas, las que tienen una cortina de más de 15 m de altura (WCD, 2000), por lo general generan serios impactos ambientales y sociales debido a la gran superficie que ocupa el embalse y a la necesidad de reubicar a la población desplazada. Debido a estos inconvenientes ambientales y a los altos costos que implica el mitigar esos impactos la generación con grandes centrales hidroeléctricas es una opción a la que cada vez se recurre menos.

En cambio, las pequeñas centrales hidroeléctricas, debido a su menor tamaño, generan menos impactos ambientales y dado a sus beneficios sociales que incluye la prevención de inundaciones, la disponibilidad de agua para riego y uso doméstico, usualmente tienen una mejor aceptación social.

Según su capacidad instalada la generación a pequeña escala se divide en pequeñas centrales hidroeléctricas (mayores a 5 MW y menores a 30 MW), mini hidroeléctricas (entre 1 y 5 MW) y micro hidroeléctricas (menores a 1 MW).

Potencial mundial

El potencial minihidráulico mundial estimado es de 1,030 TWh, lo que equivale a 7 veces la producción de CFE en el año 1995 (ver figura 2.5), donde América Latina participa con el 17% y México con 11.38 TWh, equivalentes al 1.1% del potencial mundial y la tercera parte de lo que actualmente se produce con las centrales hidroeléctricas de gran tamaño.

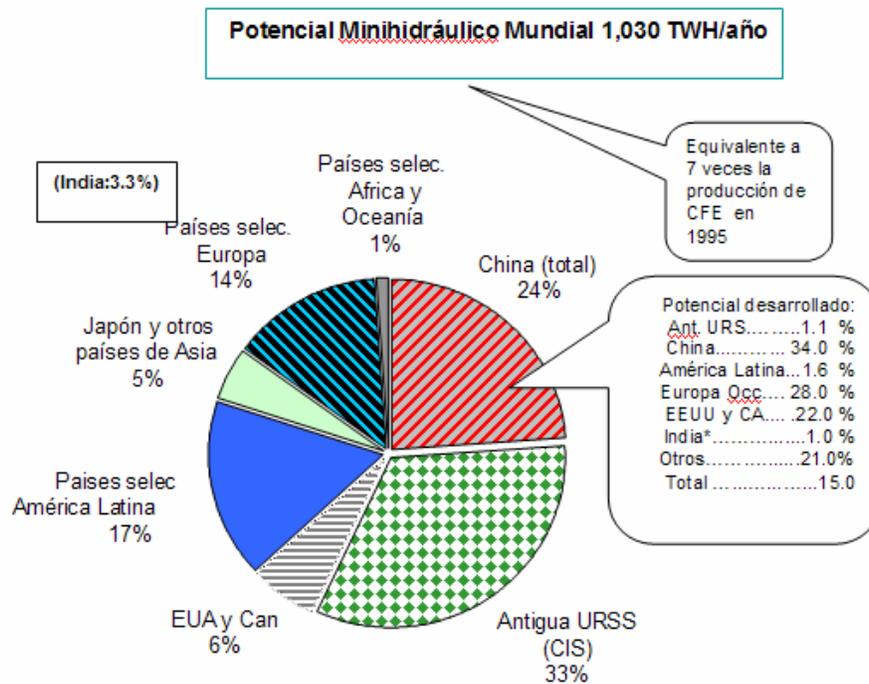
Tecnologías

La forma más utilizada para la producción de energía eléctrica a partir de la energía hidráulica es mediante centrales hidroeléctricas. Éstas,

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

independientemente de su tamaño, consisten de un sistema de almacenamiento de agua que se forma al obstruir el paso de una corriente superficial del fluido mediante una cortina, produciéndose un desnivel entre el lecho del río y la superficie del agua embalsada. La energía potencial del agua almacenada, se libera cuando es conducida a través de un sistema de ductos y se le da salida al lecho bajo del río a través de una turbina hidráulica colocada cerca del fondo de la presa donde el desnivel o tirante de la presa es máximo.

Figura 2.5. Potencial hidroeléctrico mundial explotable con centrales a pequeña escala.



FUENTE: Valdés, 2000.

El agua a presión, al pasar por la turbina la hace girar, ésta fuerza mecánica a su vez mueve a un generador, debido a que comparte el mismo eje de rotación

con la turbina. Es así como la energía potencial de la columna de agua se convierte en energía eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas además de la altura de su cortina, se dividen según su desnivel, también llamado salto hidráulico, en centrales de alta, media y baja presión. Entre las centrales de alta presión se encuentran incluidas aquellas cuyo valor de salto hidráulico es superior a los 200 m y los caudales desalojados son relativamente pequeños, alrededor de 20 m³/s. A altas presiones se utilizan exclusivamente turbinas Pelton y turbinas Francis. Cuando los saltos son medianos se utilizan turbinas Turgo y cuando son pequeños se utilizan turbinas Kaplan. A pequeña escala desde 500 Watts, se suelen usar turbinas tipo Pelton cuando el salto hidráulico es mayor a 20 metros y Turgo cuando es poco mayor a 1 metro. A partir de 20 kW se aplican las turbinas tipo Francis dependiendo del salto hidráulico. Cuando éste es mínimo o no existe, se pueden utilizar turbinas tipo Davis en canales de riego, por ejemplo.

La hidroelectricidad ha contribuido grandemente al perfeccionamiento de las turbinas hidráulicas debido a la búsqueda de mayor eficiencia de conversión de energía, logrando actualmente eficiencias cercanas al 95%.

Aplicaciones y ventajas

Desde el punto de vista ambiental la generación hidroeléctrica es una de las más limpias, aunque esto no quiere decir que sea totalmente inocua.

Entre las ventajas que ofrece este tipo de plantas se encuentran unas mínimas necesidades de mantenimiento y que constituyen una opción viable para sectores aislados. Su costo de generación es bajo.

Sin embargo, para la generación hidroeléctrica a pequeña escala es difícil competir contra las fuentes no renovables de energía, ya que para poder hacerlo es necesario que sus beneficios sociales y ambientales se reconozcan como un todo, y para ello se requiere el soporte de una política nacional para asegurar que los beneficios lleguen a todos.

2.5 GEOTERMIA

Características

El interior de la Tierra está constituido por magma y materia incandescente, a una profundidad de aproximadamente 6,370 km, se tiene un promedio de temperaturas cercano a los 4,500 °C (Verma, 2000). Dado que la temperatura de la superficie es mucho menor, este calor tiende a salir hacia la superficie en forma natural. Sin embargo, el calor se sigue produciendo al interior de la Tierra por reacciones nucleares (Verma, 2000). Las erupciones volcánicas, geisers, lagunas calientes, volcanes de lodo o manantiales de aguas termales son pruebas de este flujo de calor. En el interior de grutas o minas se percibe claramente un aumento de temperatura respecto a la temperatura en la superficie.

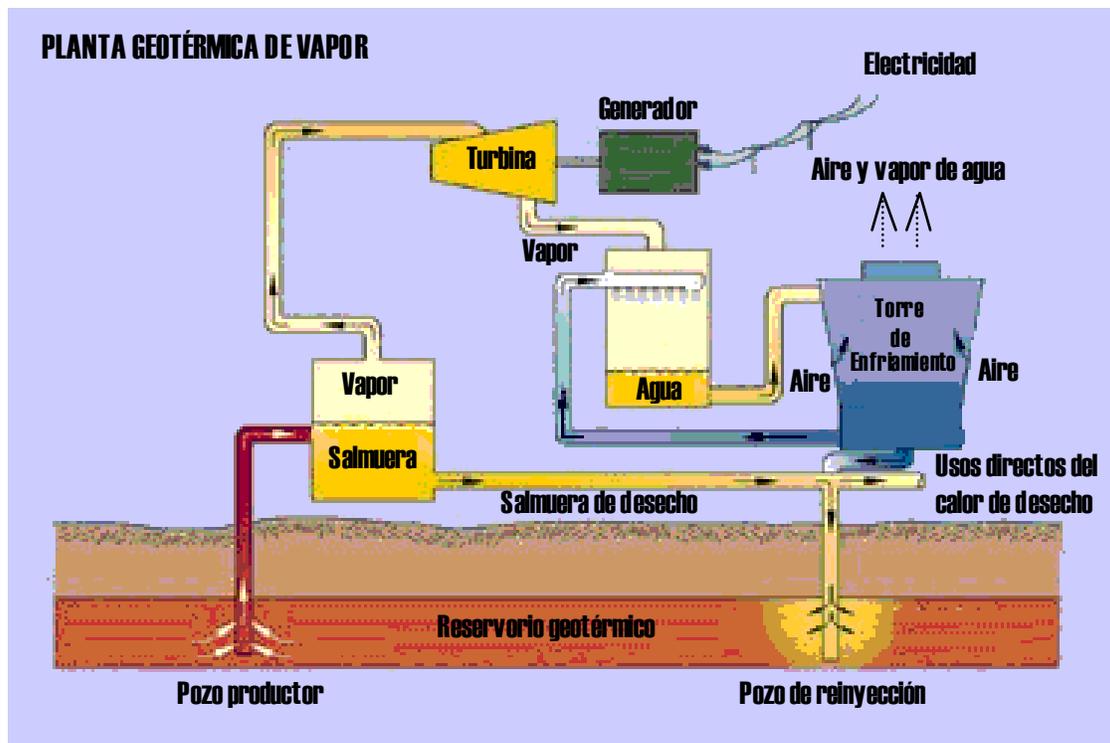
Potencial mundial

Según datos reportados por Verma (2000), la capacidad total instalada en el mundo para los usos directos de la geotermia es de alrededor de 16,200 MW, dentro de los cuales destacan las bombas de calor. El mismo autor reporta que el uso de la energía geotérmica actualmente es del orden de ~112.4 terajoules por año que representa el 0.4% de la oferta mundial de energía primaria (IEA-b, 2002).

Tecnología

Una vez localizado un reservorio geotérmico, que es un depósito de fluido a temperaturas mayores a 200 °C y a una profundidad no mayor a 3.5 km, es necesario perforar uno o varios pozos para poder extraer el fluido (vapor o mezcla de agua-vapor). Una vez en la superficie, este fluido se separa en vapor y salmuera (agua con minerales), el vapor a alta presión se conduce hacia una turbina haciéndola girar y ésta a su vez hace girar a un generador de electricidad, ver figura 2.6, donde se observa que tanto la salmuera como el vapor condensado, son reinyectados al subsuelo.

Figura 2.6. Esquema del proceso de generación de electricidad a partir de recursos



Aplicaciones a nivel mundial

Además de la producción de electricidad, la energía geotérmica tiene otros usos directos, donde se tiene un aprovechamiento máximo de la energía térmica contenida en los fluidos de desecho de una central geotermoeléctrica o simplemente en aprovechar campos geotérmicos de temperatura media (menor a 200 °C). En la tabla 2.1 se muestran varias aplicaciones directas de la geotermia de acuerdo con su rango de temperaturas.

Tabla 2.1. Aplicaciones directas de la geotermia.

Aplicación	Rango de temperatura (°C)	Sector
Bombas de calor para la purificación de efluentes	100 - 200	Industrial
Calentamiento de espacios	50-100	Residencial y comercial
Calentamiento de invernaderos	50-100	Agrícola, agroindustria (horticultura, floricultura, forrajes, plantas medicinales e incubadoras)
Cultivo de peces, crustáceos y algas	hasta 35	Acuicultura
Producción de fertilizantes empaque de alimentos, obtención de azúcar, fabricación de papel, productos químicos	100 -180	Industria
Baños termales medicinales	hasta de 50	Servicios
Producción de aire acondicionado por absorción	100 -180	Servicios

FUENTE: (Verma, 2000).

2.6. OTRAS NUEVAS ENERGÍAS RENOVABLES

Además de las tecnologías para utilizar las fuentes de energía renovable ya descritas, existen otras tecnologías en etapa de desarrollo para otras fuentes renovables de energía. A continuación se mencionarán algunas de las más estudiadas.

2.6.1 Energía oceánica

La energía del océano se manifiesta al menos de dos maneras: como energía mecánica y energía térmica. La energía mecánica se presenta en forma de mareas y olas, la energía de las olas es función directa de la cantidad de agua desplazada del nivel medio del mar que a su vez depende de la velocidad del viento y el tiempo que está en contacto con él. El potencial total estimado de las olas que rompen en las costas del mundo es del orden de 2000 a 3000 GW (DOE, 2004).

Las mareas se forman de la atracción gravitacional del Sol y la Luna, y de la rotación de la Tierra. La energía de las mareas se deriva de la energía cinética del agua moviéndose de una localización más alta a una más baja. Al agua de las mareas se le suele embalsar y para convertirla en electricidad se le deja salir a través de turbinas que activan a un generador eléctrico. Actualmente, la planta maremotriz de mayor capacidad se encuentra en La Rance al norte de Francia, la cual tiene 240 MW instalados.

En México existe un potencial maremotriz todavía sin evaluar, se encuentra en el norte del golfo de Baja California, entre la costa y la Isla de San Lorenzo, se forma un canal marítimo con fuerte corriente en una sola dirección llamado "Salsipuedes", donde tal vez se pudieran instalar turbinas tipo Davis para generar electricidad.

Energía oceánica térmica. Debido a que los océanos cubren más de un 70% de la superficie terrestre, los hace los colectores solares más grandes del mundo. La conversión de la energía térmica oceánica utiliza la diferencia de temperaturas que existe en los mares tropicales y subtropicales entre el agua tibia de la superficie y el agua fría de las profundidades, a 1,000 metros de profundidad la diferencia de temperaturas es de 20 °C mínimo. La tecnología oceánica térmica se encuentra en un estado de desarrollo incipiente, sin embargo permanece como una opción prometedora en el largo plazo. México posee aguas de las características mencionadas en las costas de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

2.6.2 *Energía del Hidrógeno*

El hidrógeno es el elemento químico gaseoso más abundante en el Universo, al quemarse sólo produce energía y agua por lo que es el combustible más limpio que existe. Sin embargo, no se le utiliza como tal, por el contrario tiene multiplicidad de usos no energéticos en la industria y se emplea de esta manera en grandes cantidades. El uso no energético de hidrógeno que se consume actualmente es alrededor de la quinta parte del consumo actual de gas natural mundial y se le obtiene a partir de la reformación de hidrocarburos fósiles.

El hidrógeno es un portador de energía ya que puede producirse fácilmente a partir de la disociación del agua en electrolizadores y puede servir para almacenar energía, es fácilmente transportable y si es producido con fuentes renovables de energía tiene el potencial de formar un sistema energético prácticamente sin emisiones contaminantes. La disociación del agua puede llevarse a cabo en electrolizadores alimentados con celdas solares fotovoltaicas, generadores eólicos, pequeñas hidroeléctricas, geotérmicas, etc. El hidrógeno también puede ser producido a partir de la gasificación de la biomasa, donde podría almacenarse el 75% de su contenido energético en forma de hidrógeno. Otra forma novedosa de producción (el de bio-hidrógeno) en plena etapa de

investigación se presenta a través de algas o bacterias que lo sintetizan al digerir residuos orgánicos, preferentemente agrícolas⁵.

El hidrógeno puede ser utilizado para generar electricidad directamente mediante la tecnología de celdas de combustible, donde paradójicamente el hidrógeno no se quema sino que se reduce químicamente en presencia de oxígeno produciendo una corriente eléctrica y agua. La obtención y perfeccionamiento de tecnologías del hidrogeno ha recibido gran atención en los últimos tiempos y se le están dedicando a nivel mundial gran cantidad de recursos tanto a la investigación como a su desarrollo. Desgraciadamente y es cuestionable que estos esfuerzos no estén mayoritariamente enfocados a la obtención de hidrógeno a partir de nuevas fuentes renovables de energía.

⁵ IEA Hydrogen Program: Task 15 - Photobiological Production of Hydrogen

CAPÍTULO III

POLÍTICAS ENERGÉTICAS ADOPTADAS EN EL MUNDO Y EN MÉXICO PARA UNA MAYOR INTEGRACIÓN DE LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA

En este capítulo se abordan las diversas políticas que algunos países han adoptado para incrementar la participación de las nuevas fuentes renovables de energía en su sector energético. Inicialmente, se presentan casos de países industrializados, cuyas políticas se encuentran plasmadas en su legislación y que responden principalmente a los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto.

Posteriormente, se exponen experiencias de países en vías de desarrollo, donde se observan metas y objetivos; sin embargo, sus acciones se limitan únicamente a programas dirigidos al uso de nuevas energías renovables, en donde su objetivo principal es la satisfacción de necesidades energéticas básicas por lo que dentro de su marco jurídico, no cuentan con leyes que específicamente traten del tema.

Finalmente, se presenta la situación actual que guardan las políticas energéticas de nuestro país sobre las nuevas fuentes renovables.

3.1. UNIÓN EUROPEA

La Unión Europea (UE) ha establecido una serie de políticas para propiciar una mayor participación de las fuentes renovables de energía, esencialmente porque éstas permitirán a países miembros abordar el problema del cambio climático y disminuir la dependencia de las importaciones energéticas, principalmente, de petróleo y gas.

El plan de acción sobre las energías renovables en la UE se presenta en el documento *“Energía para el futuro: las fuentes de energía renovables”*⁶ para lograr

⁶ Libro Blanco, por el que se establece una estrategia y un plan de acción comunitarios. UE. 1997

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

el objetivo de alcanzar en 2010 una penetración mínima del 12% de las fuentes de energía renovables en la Unión Europea.

El objetivo global fijado exige una fuerte implicación de los Estados miembros, que deberán estimular la expansión de las fuentes de energía renovables en función de su propio potencial. Se espera que la definición de objetivos de cada Estado permita lograr:

- Una mayor explotación del potencial renovable disponible;
- Una mayor contribución a la reducción de emisiones de bióxido de carbono (CO₂);
- Una reducción de la dependencia energética;
- El desarrollo de la industria nacional y
- La creación de empleos.

Se esperan, asimismo, beneficios económicos importantes con el aumento del uso de las fuentes de energía renovables. Se perfilan sobre todo importantes salidas a la exportación debido a la capacidad que adquiriría la Unión Europea para suministrar equipos, para explotar estas fuentes, así como servicios técnicos y financieros asociados.

Como resultados, se confía en:

- La creación de 500 a 900 mil empleos;
- Un ahorro anual de gastos de combustible no renovable;
- Una reducción de las importaciones de combustible del 17.4%;
- Una reducción de las emisiones de CO₂ de 402 millones de toneladas anuales en 2010.

Características del plan de acción

El plan de acción propone ofrecer a las fuentes de energía renovables salidas equitativas en los mercados sin condicionamientos financieros excesivos. Para ello se ha elaborado una relación de medidas prioritarias, entre las cuales hay que citar:

- El acceso no discriminatorio al mercado de la electricidad; y
- Medidas fiscales y financieras;

En la actualidad no se concede una importancia significativa a las energías renovables en las políticas, programas y presupuesto comunitarios. En el plan de acción se sugiere sensibilizar en mayor medida a los responsables de los distintos programas e intensificar la presencia de las energías renovables en las distintas políticas de la Unión, como:

- Nuevas iniciativas en el campo de la bioenergía para el transporte, la producción de calor y de electricidad y, sobre todo, medidas específicas para aumentar la cuota de mercado de los biocarburantes, para fomentar el biogás y desarrollar mercados de biomasa;
- El fomento de las fuentes de energía renovables (como la energía solar) en el sector de la construcción, tanto para diseñar y renovar como para equipar nuevos edificios.
- Cuidado del medio ambiente;
- Generación de empleos;
- Fomento a la investigación y desarrollo tecnológico;
- Fortalecimiento de una política agrícola común y desarrollo rural;
- Relaciones exteriores.

Para llevar a buen término el objetivo fijado en el Libro Blanco, la cooperación entre los Estados miembros deberá intensificarse. Esto ya ha sido objeto de una propuesta de decisión relativa a la organización de dicha cooperación.

También se prevén medidas de apoyo, especialmente en el marco del programa ALTENER⁷, para realizar una promoción adecuada, informar al consumidor, elaborar normas europeas, mejorar la posición de las fuentes de energía renovables en esquemas de financiamiento mundiales, crear redes (regionales, islas, universidades, etc.) en el campo de las fuentes de energía renovables (Unión Europea, 2001).

A continuación se analizan los casos más importantes dentro de la Unión Europea:

3.1.1. ALEMANIA

En el año 2000, el Consejo Federal Alemán aprobó la *Ley de Energías Renovables*, la cual tiene como objeto central promover una mayor participación de las energías renovables en la generación de electricidad, además de fomentar la protección del clima y del ambiente, el desarrollo sostenible y el aumento del porcentaje de las energías renovables en el suministro de electricidad con un mínimo del 12.5 % para el año 2010 y un 20% para el 2020, de acuerdo con los objetivos de la Unión Europea (Jürgen,2000).

⁷ El programa ALTENER tiene por objeto fomentar las energías renovables en la Unión Europea.

Funcionamiento de la Ley de Energías Renovables

De manera general, el funcionamiento de esta ley se puede explicar en cuatro fases consecutivas. Para hacerlo más comprensible, a continuación se presenta el ejemplo de un agricultor que genera electricidad con una central de biomasa:

1. La ley le otorga al agricultor (generador) el derecho de conectar su central de biomasa a la red de suministro más cercana e introducir la electricidad generada en su central. Cada inversionista de una planta semejante tiene derecho a suministrar su electricidad a la red eléctrica.
2. Dado que en Alemania la generación de electricidad, la administración de la red y el suministro están separados, el administrador de la red recibe la electricidad para traspasarla a la distribuidora, que le reembolsa lo que pagó por la electricidad.
3. El distribuidor debe pagarle al agricultor la tarifa establecida en la ley por la electricidad suministrada.
4. La distribuidora puede mezclar la electricidad proveniente de la central de biomasa del agricultor con el volumen total de la energía que suministra, o puede comercializarla por separado como electricidad generada por energía renovable, es decir como electricidad ecológica. En el primer caso, la distribuidora recibe el pago de todos los consumidores de electricidad, en forma prorrateada a través del precio de la electricidad. En el segundo caso, el cliente que explícitamente compra electricidad generada por energías renovables, tendrá que pagar la tarifa establecida en la ley.

La ley rige las tarifas de electricidad proveniente de centrales eólicas, solares, geotérmicas, microhidroeléctricas, biomasa y biogás.

Los montos de las tarifas para la electricidad suministrada varían, pero siempre rige el siguiente principio: *La Ley de Energías Renovables* fija las tarifas asegurando el funcionamiento rentable de la planta, siempre y cuando se trate de una planta moderna operada en forma racional. Las tarifas establecidas no pueden garantizar utilidades en una planta mal administrada, lo que implica un reto para el empresario. Dicho de otro modo, si alguien decide invertir en una planta eléctrica a base de energías renovables, tiene la posibilidad de generar ingresos con el capital invertido, siempre y cuando administre su planta de manera adecuada. Este aspecto es la base para adquirir capital privado y poder prescindir de fondos públicos. Por ejemplo, al observar el caso de la energía eólica, la experiencia en Alemania ha demostrado que la posibilidad de generar ganancias, con el sistema de tarifas establecidas en la *Ley de Energías Renovables*, es el estímulo determinante para invertir en estas fuentes.

Las tarifas varían según el tipo de generación de electricidad, la capacidad instalada y la región en donde se encuentran ubicadas las plantas. Por ejemplo, al interior del país las tarifas son diferentes para la energía eólica que en la zona costera, tomando en cuenta las diferencias de oferta eólica según la región. Todas las tarifas se rigen por el principio de la rentabilidad. Al mismo tiempo, se pretende evitar tarifas demasiado elevadas para prevenir ganancias exageradas y cargas muy altas para los consumidores.

Desde el 1° de enero del 2002, se introduce una disminución de las tarifas de compra de energías renovables para las nuevas instalaciones que se han construido a partir de esta fecha. De esta forma, se pretende estimular un decremento de los costos de inversión y financiamiento. Por el contrario, en el caso de las plantas que ya estaban operando se mantendrán las tarifas válidas en el momento de su puesta en marcha, ya que de otro modo el generador no tendría la suficiente seguridad para su inversión. Todas las tarifas se pagarán como

máximo durante 20 años, lo que es aproximadamente el plazo de amortización de este tipo de plantas.

El Ministerio de Economía revisa periódicamente si el desarrollo del mercado permite una reducción de las tarifas antes de los plazos fijados. El Parlamento puede acoger estas propuestas y determinar otras reducciones de las tarifas. En la medida en que con el paso de los años las energías renovables se adapten a los precios de electricidad habituales en el mercado, esta ley perderá su justificación.

La *Ley de Energías Renovables* contempla también diferentes aspectos de la utilización de la red de electricidad. Al generador de la planta le corresponden los costos de conexión a la red. Si requiere un refuerzo de la red para que la electricidad pueda salir de su planta, le compete al operador de la red asumir los costos, pues él puede, a través del pago de la utilización de la red, cargar estos costos al cliente. La Oficina de Mediación en el Ministerio Federal de Economía interviene en el caso de posibles conflictos.

Finalmente, la *Ley de Energías Renovables* contempla un mecanismo que asegura que todas las distribuidoras en Alemania incorporen un porcentaje similar de electricidad a base de energías renovables. De este modo, se evita que las regiones costeras, que tienen un alto porcentaje en energía eólica, tengan una mayor carga que las regiones al interior del país con menos centrales eólicas. Los propios administradores de la red se preocupan de la compensación de los costos (Jürgen, 2000; Hans-Josef Fell, 2002).

Resultados sobre el fomento de las energías renovables

Actualmente, Alemania es uno de los países que más éxito mundial ha demostrado en este ámbito. En el 2003, cerca del 13% de la capacidad de generación global de Alemania era eólica y la energía generada de estas centrales

en el 2001 representó el 8.1% de la generación total de electricidad. Además es importante señalar que este país, es en estos momentos, líder mundial en sistemas solares fotovoltaicos ya que, tan solo en el 2003 se instalaron 130 MWp y se espera una tasa de crecimiento del 50% para este año.

Asimismo, se espera que para el 2004, se encuentren instalados más de un millón de metros cuadrados de colectores solares (Worldwatch Institute, 2003; IEA-a, 2002; ISES, 2004).

En el año 2003, el empleo de las energías renovables permitió reducir las emisiones de bióxido de carbono en aproximadamente 53 millones de toneladas, de las cuales 23 millones, es decir, el 44%, del total reducido, se atribuye a la aplicación de esta ley.

También, es importante señalar que el establecimiento de esta ley permitió la creación del alrededor de 120,000 empleos (Ministerio del Medio Ambiente de la Federación Alemana, 2004).

Por último, cabe destacar que actualmente un tercio de la energía eoloeléctrica del mundo se está generando en Alemania (Schroeder Gerhard, 2003).

Modificaciones a la Ley de Energías Renovables de Abril de 2004

El 2 de abril de 2004, la Cámara Baja del Parlamento Federal Alemán (Bundestag), aprobó modificaciones a la ley relativa a la promoción del uso de las fuentes de energía renovables que tienen por objeto mejorar sustancialmente las condiciones básicas de la introducción a la red, la transmisión y la distribución de la electricidad generada a partir de las fuentes de energía renovable.

Estas modificaciones aun se encuentran en proceso, dado que la Cámara Alta del Parlamento Alemán (Bundesrat) todavía no las discute ni las aprueba. Sin embargo, se espera que este mismo año entren en vigor (Ministerio del Medio Ambiente de la Federación Alemana, 2004).

3.1.2. DINAMARCA

Desde 1990, la política energética de Dinamarca estuvo dirigida a alcanzar el desarrollo sustentable en su sector energético. Esto se puede observar en sus planes de energía de 1990 y 1996, cuyos objetivos principales eran el desarrollo de las fuentes de energía renovable, la expansión de la generación de electricidad basada en este tipo de fuentes y el incremento de la participación de la energía eólica y los biocombustibles en la producción de electricidad. Particularmente, un objetivo específico de estos planes es que en el 2005 aporten entre el 12% y 14% de la energía primaria, mientras que para el 2030, se espera que esta participación alcance el 35% (Meyer, *et al*, 2003).

Posteriormente, en junio de 1999, se reformó el sector eléctrico de este país para permitir un mercado eléctrico, cumpliendo con las directivas de la Unión Europea. Así, para enero de 2001, los consumidores de electricidad cuyo consumo era mayor de 1GW podían comprar la electricidad en el mercado. Finalmente, la reforma se consumaría en enero de 2003, extendiéndose a todos los consumidores.

Esta modificación del sector eléctrico consideró como una obligación el uso de la energía renovable para producir electricidad, para lo cual se proponía lo siguiente:

- Introducción de certificados verdes de electricidad que serían la base del desarrollo gradual de un mercado de certificados verdes.

- En un periodo de transición, las plantas privadas de energía renovable recibirán garantías, como el establecimiento de precios y subsidios a la producción de electricidad. De esta forma, se asegura una depreciación en términos razonables de la inversión realizada con antelación. Posteriormente, estas plantas podrían otorgar certificados verdes y vender su producción y los certificados en los términos de mercado.
- En un periodo inicial, la producción de nuevas plantas de energía renovable sería asegurada a través de un precio establecido y un precio mínimo de certificados verdes.
- Todos los consumidores de electricidad en Dinamarca estarían obligados a comprar energía renovable, dando prioridad a las plantas que se encuentran en operación. Como parte de esto, de ahora en adelante las cuotas para energía renovable deberán ser anunciadas para que todos los consumidores se obliguen a adquirir un porcentaje de energía renovable de su consumo total. Para el periodo 2000-2004, las cuotas serán diseñadas de tal forma que el 20% del consumo de electricidad en 2003 sea cubierto por energía renovable (Energicenter Denmark, 2004).

Actualmente, se espera que para 2005, el 29% de la electricidad generada provenga de energías renovables (Meyer, *et al*, 2003).

3.1.3. ESPAÑA

En España se elaboró el *Plan de Fomento de las Energías Renovables* para dar cumplimiento a los objetivos de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, enfocados a garantizar el suministro y la calidad del mismo al menor costo posible, mejorar la eficiencia energética, reducir el consumo de energía y proteger el medio ambiente.

Con este plan España pretende lograr el objetivo de que los recursos renovables cubran como mínimo el 12% del total de la demanda energética en el año 2010, cifra acorde con la línea establecida por la Unión Europea.

Para fomentar el uso de las energías renovables en la oferta energética en España, el Plan señala lo siguiente:

1. Promoción de la energía eléctrica con fuentes renovables mediante una adecuada regulación que dé preferencia a este tipo de instalaciones.
2. Los concesionarios de las redes de distribución deben aceptar la electricidad proveniente de los autoprodutores y el precio a pagar por dicha electricidad.
3. Los productores de energía eléctrica procedente de renovables son considerados en el mercado eléctrico español como productores en régimen especial, esto es, fuera del sistema de competencia.
4. Para las instalaciones productoras sujetas al régimen especial, la retribución del kWh vertido a la red se establece incrementando el precio del mercado por una prima que se ha determinado reglamentariamente.
5. Se establece un límite general para el precio del kWh vertido a la red por instalaciones de energías renovables no hidráulicas, biomasa e hidroeléctricas de potencia inferior a 10 MW.
6. El valor de la prima se ha fijado teniendo en cuenta el nivel de tensión de entrega a la red, la contribución a la mejora del medio ambiente, el ahorro de energía primaria, y la eficiencia energética y los costos de inversión en que se haya incurrido, con miras a garantizar unas tasas de rentabilidad razonables con referencia al costo del dinero en el mercado de capitales. (IDAE, 1999).

Resultados sobre el fomento de las energías renovables

En el 2002, las energías renovables representaron el 12.6% del total de la generación eléctrica. España se encuentra entre los primeros cinco países que cuentan con un importante parque eólico para la generación de electricidad. Tan solo a finales del 2003, la potencia eólica ya instalada y en funcionamiento existente en España ascendió a 6,202 MW (MINECO, 2004).

3.1.4. FINLANDIA

Los programas energéticos nacionales de Finlandia a partir de los años setenta incluían como objetivo el uso de la bioenergía. Sin embargo, después de las crisis petroleras y de considerar que Finlandia es un país con un clima extremadamente frío, se concluyó que es indispensable recurrir a un uso intenso de fuentes de calor para subsistir. Asimismo, existen poblaciones esparcidas por todo el territorio, lo que genera grandes requerimientos de transporte; y la planta industrial es intensiva en energía, por lo que la demanda *per cápita* de energía de este país es muy alta. Bajo este panorama, el gobierno decidió realizar una serie de iniciativas que permitieran la satisfacción de estas necesidades de energía sobre todo a partir de sus recursos endógenos (Satu, 2004).

Las principales metas establecidas en la política energética de Finlandia en 1979, estaban dirigidas a incrementar el uso eficiente de la energía y el uso de las energías renovables.

En 1999 se estableció el *Plan de Acción*, el cual tiene como uno de sus principales objetivos la promoción de las fuentes renovables de energía. Este Plan pretende que la electricidad generada a partir de fuentes renovables en el

2010 tenga una participación del 31% en el consumo de electricidad. Además, este objetivo, también forma parte de la *Estrategia Nacional del Clima*, la cual tiene como finalidad la reducción de las emisiones de bióxido de carbono en respuesta al Protocolo de Kyoto.

Plan de Acción de 1999

A continuación se presentan los principales objetivos y medidas del *Plan de Acción de 1999*, para el fomento de las energías renovables.

Objetivos:

- Participación de las fuentes renovables de 31% en el consumo total de electricidad.
- Incremento del uso de biocombustibles.
- El uso de biocombustibles se encuentra dividido en combustibles industriales a base de leña, combustibles forestales y combustibles reciclados producidos a partir de desechos seleccionados.
- Acceso a las redes eléctricas para distribuir energía renovable, por ejemplo por medio de certificados verdes.

Medidas:

- Desarrollo tecnológico y adopción de nuevas fuentes de energía renovable.
- Eliminación de obstáculos administrativos.
- Financiamiento para el desarrollo y aplicación comercial de la tecnología.
- Promover subvenciones a través de impuestos de saneamiento dentro del sistema de impuestos de energía.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- Creación de una red de oficinas de energía cuyo objetivo sea la promoción del uso de fuentes renovables a nivel local y regional.
- Integrar conceptos de energía renovable y conservación de energía en programas educativos (Departamento de Energía, Ministerio de Comercio e Industria del Gobierno de Finlandia, 2003).

Propuesta del grupo de trabajo para reformar el Plan de Acción

El 5 de septiembre de 2002, el Ministerio de Comercio e Industria de Finlandia estableció un grupo de trabajo para la revisión del Plan de Acción de 1999 de energías renovables. El grupo concluyó de su evaluación que es necesario mejorar la eficacia del Plan, proponiendo las siguientes medidas:

- ✓ Incrementar el uso global de energías renovables hasta el 30% de la oferta total para el 2010
- ✓ Eliminar 4.5- 5.5 millones de toneladas de bióxido de carbono para el 2010
- ✓ Desarrollo y comercialización de nuevas tecnologías
- ✓ Nuevos instrumentos financieros tales como, impuestos energéticos, ayudas gubernamentales para inversión, etc.
- ✓ Continuar con la implementación y el monitoreo del programa (Ministerio de Comercio e Industria de Finlandia, 2004).

Resultados sobre el fomento de las energías renovables

La generación de electricidad proveniente de energías renovables en el periodo 1990-1999 pasó de 16 TWh a 22 TWh, es decir tuvo un incremento del 37.5% (Departamento de Energía, Ministerio de Comercio e Industria de Finlandia, 2003).

La capacidad de fuentes renovables instalada en este año fue de 4,119 MW, conformada por hidroelectricidad, eólica y residuos de leña (Energy research Centre of the Netherlands, 2004).

Además de que el 10% del consumo de electricidad en el país es producida por plantas de cogeneración que utilizan biomasa (Enestam, 2004).

3.1.5. HOLANDA

Los objetivos para una mayor participación de la energía renovable en el sector eléctrico holandés se remontan a los años noventa. La política energética adoptada en esta materia se presentó en 1997 en el *Libro Blanco de Energía Renovable- Energía Avanzada* elaborado por el Ministerio de Asuntos Económicos de Holanda. En este documento se estableció el objetivo de alcanzar una participación del 10% de las energías renovables en la demanda de energía primaria para el 2020. Sin embargo, actualmente, en un documento reciente titulado *Programa de Acción de 1998-2002, Energía Avanzada* se incrementa esta participación al 17% en 2020, alcanzando previamente un 9% en 2010.

Este documento enfatiza el programa “impulso a la tecnología”, que tiene como propósito mejorar la relación precio-desempeño, promover la penetración de las energías renovables en el mercado de electricidad y reducir los cuellos de botella administrativos. Aunque este programa incluye acciones voluntarias, tales como arreglos entre gobierno y empresas eléctricas, también establece diferentes incentivos económicos y fiscales enfocados a la promoción de energías renovables.

Sector Eléctrico

Antes de la liberalización del mercado de electricidad entre 1998 y 2002, la energía renovable recibió una serie de apoyos que consistían en introducir tarifas basadas en costos evitados, subsidios directos, incentivos fiscales para inversión y un cargo por beneficios del sistema. Además de que en 1989, se creó una *Ley de Electricidad* que obligaba a que las compañías abastecedoras de electricidad compraran y distribuyeran energía eléctrica generada por productores de energía renovable.

A partir del inicio del mercado minorista de energías renovables en julio de 2001, el número de consumidores de energía renovable se ha incrementado de 250,000 a 1.4 millones en enero de 2003. Este incremento de la demanda de electricidad renovable fue debido a la exención del impuesto ecológico y a incentivos a la producción. Impulsado por el éxito del mercado de electricidad renovable el gobierno holandés decidió intentar alcanzar sus metas de electricidad renovable sobre la base de un mercado voluntario (EREC, 2004; *Novem, et al.*, 2000).

Respecto a otros incentivos financieros las inversiones que sean reconocidas como proyectos verdes pueden ser financiadas con préstamos blandos provenientes de los Fondos Verdes, en donde la tasa de interés es en promedio 1% menor que las tasas de mercado (EREC, 2004). En 1992 se implementó el *Sistema de Fondos Verdes* (Green Fund System) en cooperación entre el gobierno y el sector financiero. Este mecanismo combina un incentivo fiscal, un marco para la designación de proyectos verdes y la participación activa del sector financiero. El principio básico detrás del sistema consiste en que el público general recibe ventajas impositivas para invertir en fondos verdes (Green Funds). Inicialmente, sólo los proyectos dentro de Holanda eran elegibles para

financiamiento, pero en 1995 se amplió la cobertura para proyectos en países de desarrollo y economías en transición (Moreira, 2003).

3.2. BRASIL

Sector transporte

En 1975, Brasil creó por el decreto 76.593, un programa de producción de etanol a partir de caña de azúcar, conocido como PROALCOHOL. Esta medida pretendía reducir las importaciones de crudo después de las crisis petroleras acontecidas durante esta década, además, de resolver el problema de la fluctuación en los precios del azúcar en el mercado internacional.

Este combustible es utilizado como un oxigenante de la gasolina, ya que se crea una mezcla de gasolina y etanol, este último con una participación entre 20-26%, la cual es conocida como gasohol. También es utilizado en motores que utilizan etanol al 100% en su forma de etanol hidratado. En el 2000, se publicó un decreto en donde se estableció la obligatoriedad de mezclar la gasolina con etanol en un porcentaje del 20%.

El consumo de este energético ha ido creciendo globalmente como aditivo de la gasolina o como carburante. El incremento de la producción y el uso del etanol como combustible fue posible gracias a tres acciones gubernamentales durante el establecimiento del programa:

1. Garantizar que la empresa petrolera nacional, Petrobras, comprara una cantidad fija de etanol.
2. Provisión de incentivos económicos para las empresas agroindustriales que produjeran etanol, ofreciendo préstamos con bajas tasas de interés entre 1980-1985.

3. Para este combustible se estableció un precio equivalente al 59% del precio de la gasolina. Esto fue posible porque el gobierno al mismo tiempo fijó el precio de la gasolina y de esta forma, se pretendió hacer del etanol un combustible más atractivo para los consumidores.

Actualmente ya no hay subsidios para la producción de etanol y su precio de venta equivale entre el 60-70% del precio de la gasolina en las estaciones de servicio en un mercado que actualmente no tiene restricciones competitivas, debido a una importante reducción en los costos de la producción. Estos resultados muestran que la competitividad económica del etanol es comparable con la de la gasolina.

La aplicación de este programa fue posible gracias a los altos precios de la gasolina y en especial, por las políticas favorables al uso de etanol. En el periodo 1975-1989 en total se invirtieron en este programa 4.92 miles de millones de dólares, mientras que, por el otro lado, el ahorro por importaciones de crudo fue mucho mayor, cercano a 43.5 miles de millones de dólares de 1975 a 2000. Además, es relevante señalar que recientemente, la producción de etanol ha generado alrededor de 700,000 empleos.

El uso del etanol en Brasil ha permitido eliminar los hidrocarburos aromáticos y reducir significativamente el azufre y el monóxido de carbono. Además de que las emisiones exhaustivas de hidrocarburos de alcohol son menos tóxicas que las de la gasolina. Asimismo, los acetaldehídos derivados del uso del alcohol son menos agresivos para la salud humana que los aldehídos de la gasolina y el diesel.

Como beneficio adicional, el etanol casi no genera emisiones de gases con efecto invernadero. En el periodo 1975-2000 el etanol ha eliminado alrededor de 110 millones de toneladas de carbón de las emisiones de la gasolina. En el 2000, 9.2 millones de toneladas de bióxido de carbono se evitaron debido solamente al reemplazamiento de la gasolina por etanol (Goldemberg, *et al*, 2004).

Sector eléctrico

En el 2002, Brasil aprobó una *Ley que crea el Programa de Incentivos para Fuentes Alternas de Energía*. Esta Ley tiene la finalidad de otorgar incentivos a pequeñas hidroeléctricas, eólicas y plantas termoeléctricas de biomasa, que se conecten a la red nacional de transmisión.

Asimismo, pretende adicionar una capacidad instalada de 3,300 MW de fuentes renovables antes del 2006, para lo cual se ofrecen contratos de largo plazo con condiciones especiales a través de la empresa estatal ELECTROBRAS, con bajos costos de transmisión y bajas tasas de interés.

El objetivo a alcanzar a 20 años, es que las energías renovables participen con el 10% de la producción de electricidad. (Goldemberg *et al*, 2004. Moreira, 2003).

También en Brasil se ha establecido un programa de desarrollo energético de los estados y municipios llamado PRODEEM, decretado el 27 de diciembre de 1994, que tiene por objeto atender las localidades aisladas de la red de energía eléctrica y en la que se pretende generar electricidad a partir de fuentes renovables locales. De tal manera, se promueve el desarrollo autosustentable social y económico (MEM, 2004).

3.3. INDIA

La importancia de incrementar el uso de las energías renovables como una parte de la transición para alcanzar el desarrollo sustentable fue reconocida en la India a mitades de los años setenta. Durante estos 25 años se le ha dado un gran impulso al desarrollo, promoción e inducción de una variedad de tecnologías

renovables para su uso en diferentes sectores. La situación que dio origen a esta iniciativa es que más del 65% de la población carece de acceso a servicios energéticos convencionales cubriendo sus necesidades a partir de fuentes renovables como la biomasa y los residuos animales, a través de dispositivos tradicionales.

Inicialmente, el empuje del esfuerzo nacional estuvo dirigido hacia la formación recursos humanos y la investigación y el desarrollo, en su mayor parte en laboratorios e instituciones educativas nacionales. No obstante, a partir de los años ochenta se registró una mayor expansión en las actividades relacionadas con las fuentes renovables, concentrada en actividades de demostración y de extensión a gran escala y recurriendo a subsidios, principalmente para proveer servicios energéticos a zonas rurales con biogás, cocinas mejoradas y energía solar. Estos programas crearon conciencia y conocimiento, generaron experiencia en el terreno y ayudaron a establecer una vasta red de instituciones y organizaciones no gubernamentales que llegan a gran parte de la población, hasta las personas que trabajan por cuenta propia. En la actualidad se pone el énfasis en la comercialización, la participación del sector privado en la generación eléctrica a partir de la energía eólica, pequeñas centrales hidroeléctricas, la combustión o gasificación de biomasa, así como en posibles aplicaciones industriales de la energía solar y otras formas de energía renovable.

Hasta ahora, la divulgación de estas tecnologías de energía renovable en la India se ha realizado a través de una mezcla de políticas y medidas de apoyo. Entre los incentivos disponibles cabe incluir los créditos subvencionados, derechos de aduana a precio reducido, exención de impuestos domésticos y del impuesto sobre las ventas, además, de un 80% de beneficio de depreciación acelerada para proyectos comerciales. Hay subsidios disponibles para algunos programas,

especialmente aquellos desarrollados en zonas rurales, tales como cocinas de leña de diseño mejorado, plantas de biogás, linternas solares y sistemas de iluminación para viviendas.

Es relevante mencionar que para aprovechar el gran potencial que tiene la India en energías renovables, el gobierno creó diversos organismos encargados de desarrollarlo. Inicialmente se creó la Comisión Para Fuentes Adicionales de Energía en 1981, posteriormente este organismo pasó a ser el Departamento de Fuentes No Convencionales en 1982 y finalmente, se convirtió en el Ministerio de Fuentes No Convencionales de Energía en 1992, organismo que actualmente se encuentra a cargo del desarrollo de las energías renovables en este país.

La India se enfrenta con el enorme reto de proveer energía a más de 600,000 asentamientos humanos dispersos a través de 300,000 kilómetros cuadrados. Tiene una población de 1,000 millones de habitantes que se incrementa constantemente, pero se espera que habrá de estabilizarse en alrededor de 1,600 millones en el curso de los próximos 40 a 50 años aproximadamente. Esta tarea de suministro energético se ve seriamente complicada por los bajos estándares de vida, ya que alrededor de un 75% de los habitantes se ubican por debajo del Umbral Internacional de Pobreza de 2 dólares *per cápita* por día. Su bajo poder adquisitivo ha resultado en magros niveles de consumo *per cápita* de energía y electricidad.

Dentro de este contexto, las principales metas nacionales de política energética son las siguientes:

- Proveer un suministro energético confiable mediante una mezcla diversa y sustentable de combustibles, con consideración a la seguridad;
- Rápida explotación comercial del potencial de energía renovable;

- Erradicación y remoción de la pobreza energética en todo el país;
- Asegurar la disponibilidad y asequibilidad del suministro energético, incluso aspectos de seguridad relacionados con el mismo;
- Electrificación de todas las viviendas en aldeas remotas para 2012;
- Electrificación mediante fuentes renovables de alrededor de 18,000 aldeas remotas que no tienen probabilidad de ser conectadas a la red nacional para el año 2007;
- Agregar un 10% de capacidad energética mediante fuentes renovables para 2012;
- 3 millones de plantas de biogás de tipo familiar y 7 millones de sistemas de iluminación solar para 2012 (Kannappan, 2003).

A pesar de la infraestructura con la que cuenta este país, es notoria la ausencia de un marco legal para fomentar las fuentes renovables de energía.

Situación actual de las energías renovables

En la India la capacidad de generación eléctrica a partir de fuentes renovables constituye el 3.5% del total de la capacidad de generación del país.

La energía eólica, de biomasa y las pequeñas instalaciones hidroeléctricas contribuyen aproximadamente con un 3.5% de la capacidad instalada para energía eléctrica. Hasta la fecha se aprovechan más de 4,000 MW contra un potencial estimado de energía renovable de unos 80,000 MW de fuentes explotables comercialmente. Los sistemas de energía de biomasa y energía solar han llegado a 3.5 millones y 1 millón de viviendas, respectivamente y muchas tecnologías se encuentran actualmente en el umbral de la viabilidad económica. Se ha establecido una modesta capacidad de manufactura en el país y se han

desarrollado mecanismos institucionales destinados a prestar apoyo a la utilización de tecnologías de energía renovable (M. Kannappan, 2003).

3.4. FILIPINAS

El gobierno de Filipinas espera que en los próximos 10 años, la hidroenergía sea la fuente de energía primaria más importante en el país, para lo cual tiene previsto entre otros aspectos, continuar con el desarrollo hidroeléctrico y micro hidroeléctrico.

Actualmente, Filipinas es el segundo país con mayor capacidad de generación geotérmica, antecedido por Estados Unidos y seguido por México. El programa geotérmico tiene por objetivo instalar una capacidad de generación de 990 MW entre 2004 y 2011.

En este país, el 26% de la generación total de energía eléctrica proviene de plantas geotérmicas, por lo cual, el gobierno tiene planeado para el 2011, continuar con el desarrollo geotérmico (Hayes, 2004).

3.5. CHINA

El gobierno de China ha desarrollado planes a 5 años para acelerar el desarrollo de la energía renovable a través de un mercado basado en instrumentos políticos. Para lo cual el gobierno considera:

- Crear una participación obligatoria de mercado para las fuentes renovables, a través de un requerimiento legal que establece que una proporción específica de la electricidad generada debe provenir de fuentes renovables.

- Introducir un instrumento, tal como la comercialización que permita compartir el costo y los beneficios incrementales entre las diversas regiones de China.

Además, de que ha introducido una serie de medidas fiscales, tales como, la reducción de los impuestos a las tasas de interés y subsidios gubernamentales para pagar parte de los costos financieros adicionales de nueva capacidad de energía renovable (Moreira, 2003).

3.6. INDONESIA

El gobierno de Indonesia enfatiza el papel de las energías renovables en el aseguramiento de la sustentabilidad ambiental, además de que introdujo regulaciones para fomentar la participación del sector privado y el sector social en el desarrollo de energías renovables, mediante la compra de electricidad a pequeños productores por medio de una tarifa diseñada para favorecerlos.

El Ministerio de Energía y Recursos Minerales impulsa actualmente el desarrollo de pequeñas hidroeléctricas en poblaciones rurales, y sistemas solares fotovoltaicos para la generación eléctrica en zonas urbanas. También se contempla el desarrollo de energía eólica, biomasa y geotermia. Un ejemplo de estas políticas es el desarrollo de una planta eléctrica de 100 KW a base de desechos de cáscara de arroz y diesel.

En los próximos años se construirán más plantas de este tipo en las cercanías de los molinos de arroz para abastecer de electricidad a las comunidades locales o a la red nacional.

En el 2003, se fijó una meta de 59.5 MW para sistemas comerciales microhidráulicos y esta capacidad se elevará a 153.4 MW en 2020. En las poblaciones que requieran menos de 100 KW de electricidad se impulsará la construcción de sistemas microhidráulicos en donde existan suficientes recursos hidráulicos. Adicionalmente, se utilizarán sistemas microhidráulicos de 25 KW o más para sustituir a pequeñas plantas eléctricas de combustión interna.

La Comisión Económica y Social de la ONU para Asia y el Pacífico (ESCAP) eligió a Indonesia como la locación para un proyecto piloto de sistemas microhidráulicos que se espera sea un modelo para el desarrollo de este tipo de proyectos en el resto de la región de Asia-Pacífico. Se espera que este proyecto se apegue al enfoque del *Acuerdo de Compra para Pequeños Productores* en donde los pequeños generadores privados ofrezcan la electricidad excedente a la empresa eléctrica estatal "*Perusahaan Listrik Negara*". El atractivo de este sistema es que el costo de compra de energía microhidráulica es mucho menor que la electricidad generada a base de diesel para cubrir la demanda.

El inversionista de este proyecto es un empresario privado, sin embargo, la propiedad del proyecto será compartida en un 50% con la comunidad local (Hayes, 2004).

3.7. MÉXICO

Situación actual de las políticas energéticas dirigidas a las fuentes renovables

En México existe un vacío legal a pesar de que las energías renovables se encuentren contempladas en programas sectoriales, debido a que no existe una ley que las regule específicamente.

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

Es particularmente significativo el avance e interés de instituciones de investigación y desarrollo tecnológico en las últimas tres décadas, periodo en el que se han desarrollado investigaciones y diversos proyectos, prototipos, equipos y sistemas para el mejor aprovechamiento de las energías renovables.

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

Contrariamente, el desarrollo de las fuentes renovables de energía en el ámbito industrial se encuentra actualmente en una fase incipiente, con algunas excepciones, por lo que no se cuenta con información suficiente para hacer un diagnóstico preciso sobre aspectos como los tipos de fuente, las tecnologías, las aplicaciones y los mecanismos de financiamiento.

Las fuentes renovables en la política energética nacional

El documento normativo más importante y más reciente en lo que respecta a las fuentes renovables de energía es el *Programa Nacional de Energía 2001-2006* (SENER, 2002). En él está contenida la visión general del sector energético, la cual enfatiza una amplia promoción del uso de fuentes alternas de energía.

Para lograr sus propósitos, el programa establece diversos principios rectores de la política energética, entre los que se destaca el uso de las fuentes renovables de energía para lograr el propósito de *promover el crecimiento económico del país, proteger al medio ambiente y permitir un desarrollo sustentable en el largo plazo para todos los mexicanos* (SENER, 2002).

Dentro de este propósito se establece el promover el uso sustentable de los recursos naturales. Para esto se requiere de un marco de concertación y participación de los sectores público, privado y social, que facilite el aprovechamiento de las vastas oportunidades que ofrecen las energías renovables ya que las tecnologías que hacen posible este aprovechamiento siguen evolucionando, a la par que sus costos se reducen.

Bajo esta perspectiva, el programa plantea que se desarrollarán estrategias orientadas a promover la explotación de todas y cada una de las oportunidades técnicamente posibles y económicamente rentables, tanto del lado de la oferta como de la demanda.

Sin embargo, para lograr cumplir cabalmente este objetivo sectorial, se considera necesario contar con un conjunto de elementos y acciones que de manera particular para las fuentes renovables de energía se presentan a continuación:

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- Precios de la energía que además de sus costos, reflejen aquellos asociados a su impacto ambiental;
- Programas nacionales y regionales de aprovechamiento de energías renovables en el mediano y largo plazo acordes a los cambios estructurales del sector energético;
- Una base normativa para promover las energías renovables;
- Programas permanentes para la formación y certificación de recursos humanos especializados en energías renovables;
- Un sistema nacional de evaluación, registro y difusión de los recursos energéticos renovables;
- Mecanismos de apoyo financiero para proyectos de energía renovable;
- Recursos para la investigación básica en energías renovables, y
- Vinculación activa y permanente, bilateral y multilateral, de instituciones mexicanas con organismos internacionales similares en otros países.

Por otra parte, en el periodo 2001 – 2006, se pretende duplicar la utilización de energía renovable en comparación con la utilizada en el año 2000. En particular, se pretende instalar 1,000 MW adicionales al programa de expansión de CFE, basados en energías renovables como solar, viento, minihidráulica, geotérmica y biomasa.

Dentro de este marco institucional, destacan las iniciativas de la SENER para promover el desarrollo de nuevas tecnologías y programas para aprovechar las fuentes alternas y renovables, en un marco de desarrollo sustentable.

En este sentido, la SENER (junio de 2001) ha pretendido establecer las siguientes componentes de política energética:

- Creación de un ambiente regulatorio favorable al desarrollo de las fuentes renovables:
 - Inclusión en la reforma del sector eléctrico de un tratamiento no discriminatorio a las energías renovables (ER),
 - Incorporación de contratos de largo plazo para la inversión en infraestructura en ER,
 - Diseño de incentivos fiscales y contractuales para el desarrollo de ER,
- Impulso a la investigación y al desarrollo de ciencia y tecnología en materia de fuentes renovables:
 - Creación de un Centro Nacional de Información y Estudios Energéticos para coordinar la investigación en esos temas,
 - Incremento sustantivo de los montos destinados al desarrollo de ciencia y tecnología en los institutos de investigación del sector,
 - Coordinación de las actividades de los institutos de investigación por medio de convenios de desempeño y reestructura de la SENER,
- Creación de fideicomisos sectoriales de investigación en materia de energía y medio ambiente,
 - Relación de energía y medio ambiente,

- Cartera de proyectos en energías renovables

- Desarrollo de fuentes renovables en zonas rurales
 - Desarrollo de programas piloto,
 - Desarrollo de nuevas tecnologías y;
 - Desarrollo en zonas marginadas más amplias.

A pesar de la claridad y coherencia de estos lineamientos, es importante señalar que hasta la fecha no se han registrado resultados significativos. Esta situación puede vislumbrarse como crítica, si se considera el auge mundial de las fuentes renovables, así como la intensificación de los esfuerzos de diversas instituciones para lograr acuerdos y marcos de cooperación internacionales. El más reciente de ellos es la Conferencia Internacional para las Energías Renovables, efectuada en Bonn del 1º al 4 de junio de 2004 y cuyas principales resoluciones se encuentran expuestas en el capítulo I (Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien, 2004). México formó parte de los países asistentes y estableció dentro de su iniciativa el siguiente objetivo principal:

“Incrementar el uso de energías renovables mediante la Iniciativa de Energía Renovable de México”

Como contenidos se estableció:

- Iniciar la adecuación del marco legal y regulatorio, así como incentivos de mercado y esquemas innovadores de financiamiento para fortalecer todas las energías renovables y promover la inversión privada.

- Desarrollar y promover un mercado de usuarios de energía verde.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- Diseñar e implementar métodos y sistemas transparentes para estimar e internalizar los beneficios e impactos ambientales de las tecnologías energéticas dentro de los costos de generación.
- Promover proyectos de generación eléctrica y de calor a base de energías renovables, así como la expansión del uso de tecnologías de energías renovables para el abastecimiento sostenible de energía en zonas rurales aisladas.
- Iniciar y fortalecer programas de cooperación nacional e internacional entre el gobierno federal, los gobiernos locales, la academia, institutos de investigación y organizaciones internacionales de investigación y financiamiento, para promover la construcción de capacidad, investigación y desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología.

Como resultado de esta iniciativa se espera un incremento del 40% en la capacidad instalada de generación eléctrica a base de energías renovables, equivalente a 4,000 MW, para 2014, así como un centro de investigación en tecnología eólica.

En concordancia con estos propósitos la Secretaría de Energía (SENER, 2004) está tratando de obtener fondos por poco más de 81 millones de dólares provenientes del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), del Banco Mundial y del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), para incentivar el desarrollo en gran escala de las energías renovables y promover la investigación y el desarrollo tecnológico, así como el fortalecimiento institucional y de capacidades.

Este proyecto conocido como *Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala: Alianza Estratégica entre el Gobierno de México, el Banco Mundial y el*

Fondo para el Medio Ambiente Mundial, pretende realizarse en dos etapas. Durante la primera etapa, el fondo deberá permitir el desarrollo de 100 MW de generación con un fondo de 17 millones de dólares (de los 25 millones de dólares originales, contemplados para la primera etapa, alrededor de 8 millones se gastarán en el fortalecimiento institucional necesario para la ejecución del proyecto). En la segunda etapa, otros 45 millones de dólares permitirán el desarrollo de entre 200 y 300 MW adicionales. Dicha iniciativa se apoyará en una donación de hasta 70 millones de dólares.

Iniciativas y Puntos de acuerdo referentes a energías renovables presentadas en el Congreso de la Unión durante las LVIII y LXI Legislaturas.

En esta sección se presentan de manera general aquellas Iniciativas de Ley y Puntos de Acuerdo presentados por diversos legisladores durante la LVIII y LIX legislaturas en materia de energías renovables (Gaceta Parlamentaria Comisión Permanente, 2004; Gaceta Parlamentaria Cámara de Diputados, 2000 y 2002).

SENADORES

→ SEGUNDO PERIODO PERMANENTE DE LA LIX LEGISLATURA

Punto de Acuerdo para promover inversiones en el campo de las energías renovables presentado por el Senador Luis Alberto Rico Samaniego integrante de la Fracción Parlamentaria del Partido Acción Nacional, el 14 de julio de 2004.

➤ Síntesis

- Aprovechamiento de los residuos (BIOMASA) a los proyectos de plantas de tratamiento de aguas negras municipales para obtener BIOGAS y con él generar energía eléctrica.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- Fomentar el uso de basura municipal (BIOMASA), para obtener BIOGAS.
- Fomentar el uso de esquilmos agrícolas o estiércol para la producción de BIOGAS (metano) para ser usado en vehículos de gasolina, y semillas de una gran variedad de oleaginosas, para producir BIODIESEL.

➤ Punto de Acuerdo

En el marco de colaboración de Poderes la Comisión Permanente del Congreso de la Unión solicita a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a la Secretaría de Energía y a BANOBRAS a realizar los estudios y proyectos técnicos necesarios para promover las inversiones en el campo de las energías renovables a través de la producción privada y municipal de biogas, biodiesel y generación de energía eléctrica y otros combustibles para reducir emisiones contaminantes y ayudar al país en la producción de combustibles no reservados al Estado, informando a esta Soberanía a la brevedad posible el resultado de dichos estudios y proyectos.

DIPUTADOS

→ SEGUNDO PERIODO PERMANENTE DE LA LIX LEGISLATURA

Iniciativa con proyecto de Decreto, que reforma la Fracción IX y adiciona una Fracción al X al Artículo 9 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica presentado por el Diputado Guillermo Velasco Rodríguez integrante de la Fracción Parlamentaria del Partido Verde Ecologista de México, el 24 de junio de 2004.

➤ Síntesis

- México tiene importante potencial de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía, sobre todo en las zonas marginadas del

país. Las ventajas que ofrecen esas opciones de generación consisten en su amplia disponibilidad de recursos, en su facilidad de mantenimiento y uso en comparación con otras alternativas y en su probada viabilidad técnica y económica.

- Incrementar la electrificación rural por medios renovables.

➤ Iniciativa

Decreto mediante el cual se reforma la fracción IX y se adiciona una fracción X al artículo 9 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica

Artículo Único. Se reforma la fracción IX y se adiciona una fracción X al artículo 9 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, para quedar como sigue:

Artículo 9. ...

I. a VIII. ...

IX. Proveer de energía eléctrica a todas las comunidades del país que así lo requieran, utilizando preferentemente energías renovables para las comunidades que se encuentren alejadas de las redes de distribución.

X. Los demás que fijen esta ley y sus reglamentos.

→ SEGUNDO PERIODO ORDINARIO DEL SEGUNDO AÑO DE LA LVIII LEGISLATURA

Punto de Acuerdo en relación al proyecto de electrificación en la región del Gran Nayar presentado por el Diputado Alejandro García Saenz Arena integrante de la Fracción Parlamentaria del Partido Verde Ecologista de México, el 27 de marzo de 2002.

➤ Síntesis

- La electricidad generada en nuestro país se basa en recursos no renovables de energía que se agotarán en el mundo en un plazo no mayor a 50 años.
- Se deben tomar decisiones y realizar acciones que no comprometan el futuro energético de los mexicanos.
- Se propone como alternativa electrificar la Zona de Nayar con energía solar

➤ Punto de Acuerdo

Se exhorta al Ejecutivo federal para que en el proyecto de electrificación del Gran Nayar, considere las alternativas presentadas por grupos ambientalistas y de la sociedad civil, así como el programa de electrificación de zonas rurales con energías renovables de la Secretaría de Energía, considerando los aspectos económicos, sociales y ecológicos, y para que en un ejercicio transparente y democrático de construcción de la política pública, involucre en la decisión a las comunidades afectadas por el proyecto.

→ PRIMER PERIODO ORDINARIO DEL PRIMER AÑO DE LA LVIII LEGISLATURA

Punto de Acuerdo para apoyar la demanda del Gobierno del Distrito Federal a PEMEX de la sustitución del eter metil terbutilico (MTBE) usado en sus gasolinas magna y premium presentado por el Diputado Jorge Schettino Pérez integrante de la Fracción Parlamentaria del Partido Revolucionario Institucional, el 14 de noviembre de 2000.

➤ Síntesis

- El uso del etanol en las gasolinas, en lugar de éter metil terbutílico, resulta más sustentable.
- El etanol se obtiene de fuentes potencialmente renovables.
- Es un producto que al desecharse se biodegrada, por lo tanto su filtración a los mantos acuíferos no es un problema.
- En comparación con el MTBE, reconocido como potencial cancerígeno, el etanol resultaría inocuo.
- La quema de combustibles con etanol añadido disminuye las emisiones de CO₂ (gas con efecto invernadero).
- Su utilización fomenta su proceso de producción, que es ambientalmente más amigable que el necesario para la producción del éter metil terbutílico.
- Sustituir las importaciones de MTBE por medio del consumo de etanol favorecerá la balanza comercial de nuestro país.

➤ Punto de Acuerdo

Se exhorta a Petróleos Mexicanos para que instrumente las medidas de investigación y desarrollo necesarias para determinar la viabilidad de sustituir el uso de éter metil terbutílico por etanol u otras sustancias viables, en las gasolinas Magna y Premium, y entregue a esta representación popular la información que de ello derive.

CAPÍTULO IV
MÉXICO Y LAS NUEVAS ENERGÍAS
RENOVABLES

En este capítulo se expone la situación de las nuevas energías renovables en el contexto energético actual de México, el potencial de estas energías con el que cuenta nuestro país y los escenarios energéticos que se pueden vislumbrar para estas nuevas fuentes.

4.1. LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES EN EL CONTEXTO ENERGÉTICO ACTUAL DE MÉXICO

La información confiable sobre las fuentes energéticas utilizadas históricamente en México no se remonta más allá del año 1965, por lo que no es posible establecer con precisión los periodos en los que ocurrieron las primeras transiciones energéticas. Sin embargo, los datos disponibles nos permiten mostrar un panorama lo suficientemente claro para obtener algunas conclusiones importantes sobre nuestra situación energética actual. Así, la figura 4.1 ilustra la evolución de la oferta energética en México durante las últimas casi cuatro décadas y, como puede observarse, hay algunas diferencias importantes en relación con el panorama internacional presentado en el capítulo I.

En primer lugar, cabe destacar la escasa importancia que tiene el carbón en nuestro país al abarcar menos del 10% de la oferta interna bruta. Esta situación se debe esencialmente a los escasos yacimientos de carbón que existen en México, principalmente en el norte del territorio Nacional.

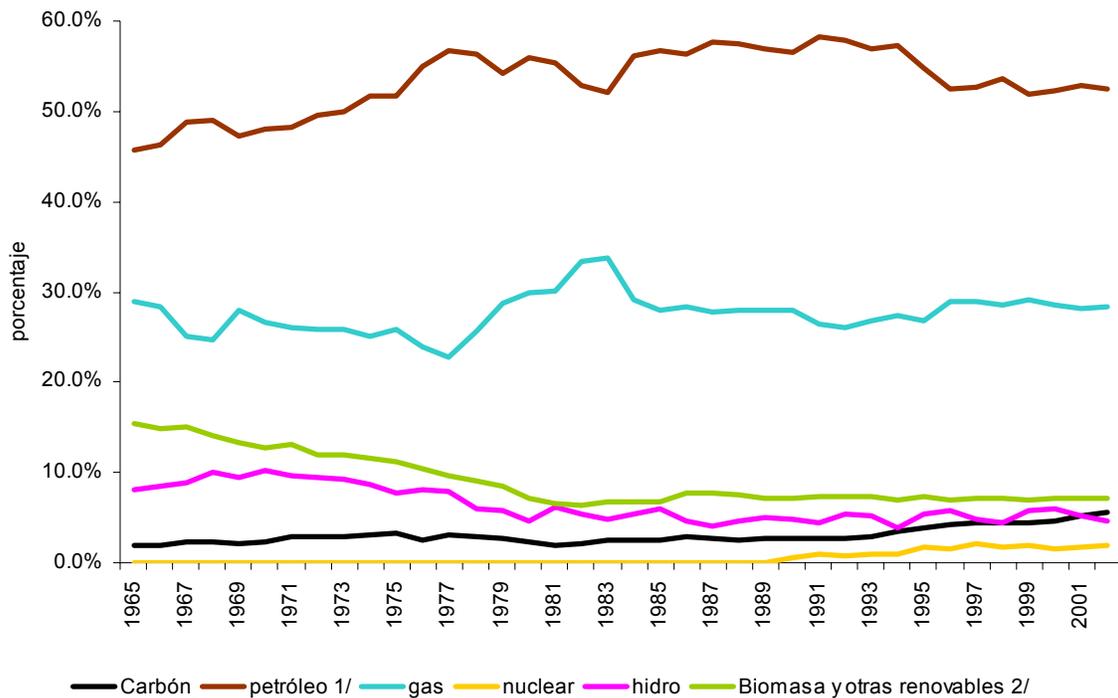
Por otra parte, el petróleo es el energético predominante en la oferta, con una participación de alrededor del 50% a lo largo del periodo, la cual, sin embargo, ha tendido a decrecer en la última década. Esta elevada participación es resultado

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

de la situación de México como país productor de petróleo, lo que representa una alta disponibilidad de este energético, y por la política de desarrollo industrial mantenida desde la expropiación petrolera y hasta principios de la década de los ochenta, la cual consistió en suministrar insumos energéticos derivados de petróleo a precios subsidiados, lo que resultó en una utilización masiva de energéticos como el combustóleo, la mayoría de las veces en procesos poco eficientes y sin ningún cuidado al ambiente.

Figura 4.1

**Evolución de la oferta interna bruta de energía primaria en México,
1965-2002 (participación porcentual por fuente)**



1/ incluye petróleo crudo y condensados

2/ incluye leña, bagazo de caña, geotermia y energía eólica

FUENTE: SENER (1997y 2003).

Otro proceso interesante que se muestra en la figura 4.1 es el relacionado con el gas natural. Históricamente, este energético ha tendido a ser el sustituto “natural” del petróleo, principalmente en los procesos industriales y, a partir de la década de los noventa, esta sustitución se ha concentrado en el sector eléctrico como resultado de la adopción de nuevas tecnologías de generación a gas natural, más eficientes y con menores impactos sobre el ambiente, aunque no debe minimizarse la contribución de la energía nuclear a esta sustitución.

De acuerdo con los datos disponibles, el proceso de consolidación del petróleo como el energético predominante en México culminó hacia principios de la década de los ochenta, cuando concluyó la tendencia al desplazamiento de las fuentes renovables tradicionales como la leña, a la par que la generación hidroeléctrica cedió su lugar como primera fuente de producción de electricidad a la generación termoeléctrica.

Como resultado de estos procesos, actualmente la utilización de las energías renovables en México se da en una proporción muy inferior a su potencial, tal y como lo indican las cifras del Balance Nacional de Energía 2002 (SENER, 2003): solamente el 11.66% de la oferta interna bruta de energía primaria se compuso de fuentes renovables de energía, lo que se compara con el uso de hidrocarburos, cuya participación en la oferta interna bruta de energía primaria fue de 86.4 %.

En lo que respecta a la leña, es importante señalar que diversas metodologías (Díaz y Masera, 2002), indican que los valores presentados para el consumo energético de leña en el Balance Nacional de Energía (BNE) están por debajo de los consumos reales, por ejemplo, el BNE, 2001 señala que se consumieron 256 petajoules lo que representa el 30% del consumo energético total en el sector residencial y el 7% del consumo final total (SENER, 2002),

mientras que en el estudio citado se menciona que la participación de la leña se encuentra entre el 8% y el 10% de la energía final y entre el 36% y el 45% del sector residencial. Esto refleja la gran importancia de este energético en un país en desarrollo, como México, en donde las comunidades rurales aisladas satisfacen la mayor parte de sus necesidades energéticas con leña, estimándose que el 75% de la energía consumida en los hogares rurales proviene de este recurso.

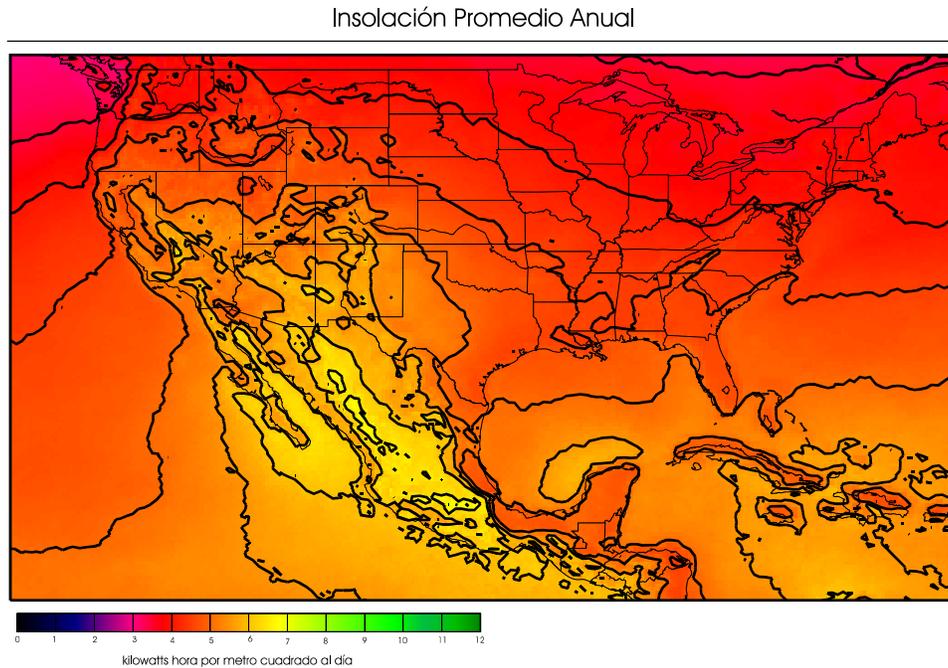
4.2. POTENCIAL Y CAPACIDAD INSTALADA POR TIPO DE FUENTE

México posee un importante potencial de energéticos renovables. Por ejemplo, el país recibe en seis horas de exposición al sol una cantidad de energía equivalente al consumo nacional de un año. Esta energía se transforma en calor, viento, agua evaporada y en diversas formas de biomasa, y, aunque la tecnología nueva permite un uso importante de este energético, hasta la fecha en México se usa marginalmente.

- Energía solar

En la figura 4.2 se presenta un mapa de la distribución de la insolación media anual de la República Mexicana. Aquí se puede distinguir cómo la mayor parte del territorio tiene una insolación media anual de 5 kWh/m² (Almanza, *et al*, 1992), lo que, suponiendo una eficiencia de transformación de energía solar en electricidad del 100% significaría que un dispositivo de dos metros cuadrados podría proporcionar electricidad a un hogar medio mexicano cuyo consumo asciende aproximadamente a 300 kWh por mes.

Figura 4.2. Distribución media anual de la insolación en la República Mexicana.



FUENTE: Bahm, 1999.

El aprovechamiento de la energía solar en México se realiza principalmente a través de los dos siguientes tipos de sistemas:

a) Sistemas termosolares

Se trata esencialmente de colectores solares planos y su aplicación principal es el calentamiento de agua (SENER, 2003). En México existen instalaciones de este tipo de colectores, resaltando la que se construyó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM a principios de los años ochenta en la Ciudad de México, y que ha sido la base para investigaciones posteriores en nuestro país. Actualmente, esta tecnología se desarrolla en México en el Instituto de Investigaciones Eléctricas, IEE; el Centro de Investigación en Energía, CIE, de la

UNAM, y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (ANES, 2000).

De acuerdo con datos de la ANES en 2002, se contaba con una superficie instalada de colectores planos de 498,615 m², con una eficiencia promedio de 70% y una capacidad estimada de 109 MW de capacidad térmica (SENER, 2003).

b) Sistemas fotovoltaicos

El desarrollo de estos sistemas en el contexto nacional se inició en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), al construirse una pequeña planta piloto con una capacidad de producción de fotoceldas que permitió, en los años setenta, proveer de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de telesecundarias (ANES,2000).

México ha experimentado programas de difusión de estos sistemas, sin embargo, solo los ha limitado a zonas rurales aisladas. El programa Solidaridad ha sido el más importante difusor de esta tecnología y fue el resultado de la conjunción de esfuerzos de instituciones como Comisión Federal de Electricidad, Instituto Nacional Indigenista y los Gobiernos estatales y municipales, entre otros. Este programa posibilitó la instalación en México de alrededor de 40,000 sistemas fotovoltaicos, y otros diez mil por la iniciativa privada, para proveer de electricidad a zonas alejadas de la red eléctrica. Esto ha permitido que miles de pequeños poblados cuenten con iluminación eléctrica durante las noches y, en algunos casos, con electricidad para bombeo de agua. Igualmente, el uso de estos sistemas se ha generalizado para la comunicación en sistemas de auxilio e iluminación en carreteras federales, para dar energía a estaciones del sistema de

comunicación por microondas y a la telefonía rural. Sin embargo, el programa tuvo la desventaja de no incluir fines productivos y de ignorar los beneficios de pequeños sistemas centralizados para proveer diferentes servicios eléctricos.

Actualmente, las principales aplicaciones identificadas en México son: la electrificación y la telefonía rural, radio transmisión, y el bombeo de agua para abrevaderos en el sector agropecuario. De acuerdo con estimaciones de la SENER (2003), el número de sistemas de centrales telefónicas rurales a base de celdas fotovoltaicas instalados entre 1995 y 2002 fue de 1,807 totalizando una capacidad instalada de 127 MW. Por su parte, el número de radio transmisores instalados en carreteras en el año 2002 fue de 526 radios, 10 repetidoras y 4 enlaces, con una capacidad total de 37 MW, 2.8 MW y 1.1 MW, respectivamente.

En lo que respecta a los sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua, a partir de octubre de 2000, la SAGARPA estableció el Programa de Energía Renovable para la Agricultura para apoyar estos proyectos. De esta forma, los sistemas instalados entre 2001 y 2002 fueron 431, con 3,374 módulos y una capacidad total de 238 MW (SENER, 2003).

- Energía eólica

En México, sólo considerando el Estado de Oaxaca, existe un potencial de 44,000 MW de capacidad lo que se compara con la capacidad instalada actual en el sector eléctrico mexicano (NREL, 2003). Además de Oaxaca en donde ya existen incipientes desarrollos de aprovechamiento eoloeléctrico, la exploración del potencial también ha identificado sitios en los estados de Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Hidalgo, Quintana Roo y Zacatecas (ANES, 2000).

México cuenta con un importante desarrollo tecnológico para la generación eoloeólica. El IIE, tiene más de 20 años de experiencia en este rubro, y ha construido y operado dos plantas eólicas piloto que le permiten adentrarse en esta tecnología, reconocer sus ventajas y limitaciones, y validar su integración al Sistema Eléctrico Nacional (IIE, 1999). El sector privado nacional realiza ya el diseño y la manufactura de aerogeneradores y los exporta ya ensamblados.

La energía eoloeólica es actualmente susceptible de desarrollarse a precios competitivos a gran escala (CFE, 2003). En lo referente al desarrollo de sistemas comerciales, en agosto de 1994, la CFE puso en operación una central eoloeólica en La Venta, Oaxaca, en la zona del Istmo de Tehuantepec, siendo la primera y única planta eólica integrada a la red eléctrica en México. Su capacidad instalada es de 1.6 MW, genera anualmente 7.1 GWh con uno de los factores de planta eólicos más altos en el mundo de 51%. Al respecto, cabe señalar que en la mayoría de los países los aerogeneradores pueden operar sólo un 30% del tiempo. En la región de la Ventosa, México este porcentaje varía entre el 45% y 60%.

Finalmente, en diciembre de 1998, entró en operación una nueva central eólica, la de Guerrero Negro, que se ubica dentro de la Zona de Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno, en la península de Baja California Sur la cual tiene una capacidad de 0.6 MW (ANES, 2000).

Para el año 2002 se contaba con una capacidad total de sistemas eólicos de casi 2.2 MW, mientras que la capacidad de sistemas híbridos (eólicos con sistemas fotovoltaicos o con equipos Diesel) totalizó 0.3 MW (SENER, 2003).

En algunos estados de la República tales como Chihuahua y Sonora, se utilizan sistemas eólicos para bombeo de agua muy útiles en localidades rurales

aisladas de la red de suministro, o cuyas condiciones geográficas impiden la electrificación convencional.



Desde 1998, la Comisión Reguladora de Energía ha otorgado 5 permisos, 4 de autogeneración y uno de exportación para instalar 792 MW a partir de energía eólica mediante capital privado en Oaxaca y Baja California (CRE, 2004).

- Energía geotérmica

En el Cinturón Volcánico Mexicano (CVM), la temperatura en el subsuelo aumenta unos 80 ó 100 °C por cada km de profundidad. En lugares no volcánicos la temperatura aumenta unos 33 °C por cada km. Esto propicia la existencia de sistemas geotérmicos susceptibles para la explotación de la energía térmica almacenada (ver figura 4.3). Así, una parte importante de esta energía confinada, en los primeros 3 ó 4 km de la corteza terrestre registra temperaturas de fondo entre 300 y 500 °C, lo que vuelve muy atractiva su explotación, tanto para la producción de electricidad como para otros usos directos.

Este potencial disponible naturalmente en México podría ser considerado como una fuente renovable inagotable (para escalas de tiempo humanas). El potencial geotérmico de México asciende a 10.4 TWh por año generados con una capacidad eléctrica instalada de 2,400 MW (SENER, 2004)⁸ adicional a los 870 MW existentes.

Dentro de este escenario mundial de generación, las cifras de producción de México, sobre todo las acumuladas al año 2003, le han permitido su ubicación en el cuarto lugar con una capacidad total instalada de 959 MW, con la cual se generó 3.5% de los 220 TWh que se produjeron. Esta generación estaba conformada en el 2002 por 15 unidades geotérmicas a base de la tecnología Flash, con una capacidad de 780 MW ubicadas en Baja California Sur, Baja California Norte y Chihuahua; 4 unidades de tecnología de ciclo binario con una capacidad de 3.1 MW ubicadas en Chihuahua, Michoacán y Puebla y 11 unidades con tecnología de Back Pressure, con una capacidad de 55 MW en total ubicadas en Michoacán y Puebla (SENER, 2003). Cabe señalar que esta generación de electricidad de origen geotérmico se realiza con factores de planta que son del orden del 85%, de los más altos del país.

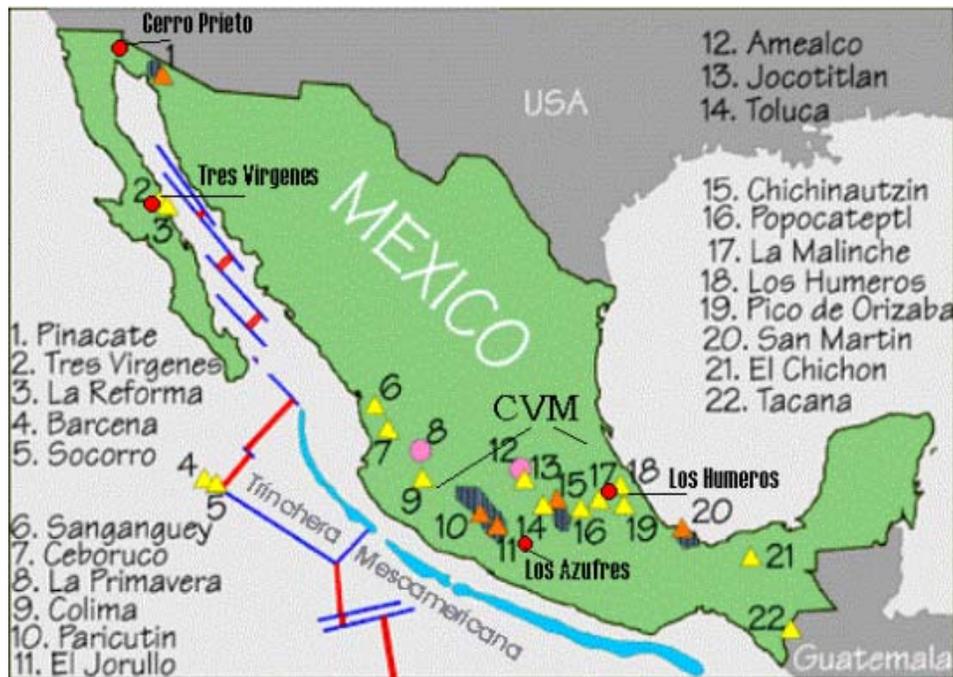
A niveles regionales, su importancia puede ser muy alta, por ejemplo el campo geotérmico de Cerro Prieto, el segundo más grande del mundo, produce el 98.9% de la electricidad que se distribuye en la red de Baja California, que es un sistema aislado del Sistema Eléctrico Nacional. A nivel nacional, la geotermia ocupa el cuarto lugar en la generación eléctrica.

La tecnología necesaria para la extracción, uso directo y generación de electricidad se encuentra en plena etapa de madurez, confiriendo gran

⁸ SENER, 2004. <http://www.energia.gob.mx/work/secciones/119/imagenes/e-renovables.pdf>

confiabilidad al sistema. La abundancia de zonas geotérmicas potencialmente explotables (ver figura 4.3), junto con el conocimiento de la tecnología necesaria para su extracción y uso, le da a México una gran oportunidad para seguir expandiendo la capacidad eléctrica instalada con una nueva fuente renovable de energía.

Figura 4.3. Localización de campos geotérmicos productores y zonas con potencial geotérmico.



El desarrollo de la energía geotérmica en México está a cargo de la CFE, la cual ha elaborado estudios de prefactibilidad en 41 zonas geotérmicas, identificándose 21 zonas con posibilidades de extracción de fluidos con alta entalpía⁹. Actualmente, existen cuatro campos geotérmicos que son aprovechados

⁹ Los yacimientos geotérmicos de alta entalpía, son los yacimientos de vapores o mezclas de agua y vapor a temperaturas superiores a los 150° C.

para generar electricidad en gran escala y uno a pequeña escala. A gran escala están: la ya mencionada planta de Cerro Prieto, Los Azufres, Los Humeros y Tres Vírgenes, a pequeña escala el de Maguarichic (SENER, 2003).

La actividad de CFE respecto a esta fuente energética también se ha extendido hacia los fluidos geotérmicos de baja entalpía en los cuales se aplica el calor geotérmico a calefacción de espacios e invernaderos en proyectos piloto localizados en Los Azufres y Los Humeros (Verma, 2000).

- *Energía pequeña, mini y micro hidráulica*

Aunque el potencial de este recurso no está plenamente identificado, datos de la CONAE (1995), estiman que el potencial de la pequeña hidráulica escala (de 5 a 30 MW), así como de la mini hidráulica (de 1 a 5 MW) y de la micro hidráulica (menores a 1MW), es de 11.38 TWh que corresponden a una capacidad instalada de 3,250 MW. Dicho potencial (véase figura 2.5) representaría 1.1% del potencial mundial y la tercera parte de lo que actualmente se produce con las centrales nacionales hidroeléctricas de gran tamaño (32.75 TWh/a). La mayor parte de este recurso se localizaría en la región sureste del país, ubicado en la cuenca del Río Grijalva. De este potencial, según la CONAE, los estados de Veracruz y Puebla, representan un potencial identificado y técnicamente explotable de 1.31 TWh/año equivalente a 375 MW.

Actualmente, en México existen minicentrales en operación en la CFE, Luz y Fuerza del Centro, distribuidas en nueve estados del centro y sureste, totalizando más de 22 centrales conectadas al sistema eléctrico nacional, con una generación media conjunta de alrededor de 102 GWh (SENER, 2003).

Los yacimientos de baja entalpía son yacimientos de agua a menor temperatura. Tienen diversos usos, como en el calentamiento de agua, en la agricultura para la producción de hongos y en balnearios con fines terapéuticos o recreativos (SENER, 2003).

En lo que respecta a sistemas independientes de particulares, actualmente operan 59 centrales, concentradas principalmente en Veracruz, con una capacidad total de 43.4 MW (SENER, 2003).

- Bioenergía

En México, sin que exista una evaluación precisa del universo de posibilidades de este tipo de recurso, existe un amplio potencial de aprovechamiento de las diversas formas de bioenergía.

La forma más utilizada de bioenergía es el bagazo de caña, ya que en el 2001 se produjeron 92 petajoules lo que representó el 76% del consumo energético en la industria azucarera, el 7% de todo el sector industrial y el 2% de la energía final (SENER, 2003). El potencial de generación de electricidad a partir del bagazo de caña es superior a 3,000 GWh al año. Sin embargo, debido a que la industria azucarera ha estado en crisis, la producción anual no ha mostrado una clara tendencia al crecimiento, sino que ha oscilado desde 1996 alrededor de los 91 petajoules anuales.

Actualmente, la CRE ha otorgado 12 permisos para instalar 135 MW en plantas de generación eléctrica a partir de bioenergía (ANES, 2000).

Existe otra forma de bioenergía cuyo potencial de aprovechamiento es alto en nuestro país pero que permanece prácticamente sin explotar, se trata de los desechos sólidos municipales, y un primer inventario de éste recurso proveniente de los rellenos sanitarios de las grandes ciudades del país presenta principalmente un potencial de 202 petajoules/año (PUE, 1998 y SENER, 1997), esto es, aproximadamente el 15% de la energía consumida del sector industrial, mediante

la conversión de éstos desechos en biogás a través de la biometanación o la pirólisis. A nivel nacional se cuenta con 2 plantas de 10.8 MW ubicados en el en el estado de Nuevo León donde se aprovecha el biogás mediante un proceso de combustión interna (SENER, 2003).

También, es relevante mencionar que en el Estado de Hidalgo se encuentra en construcción el proyecto híbrido TRATIMEX (gas natural, combustóleo, biogás), con una capacidad total de 75 MW, de los cuales 10.5 MW son generadores que utilizan biogás. (SENER, 2003).

- Energía maremotriz

Esta energía se ha aprovechado en México mediante un dispositivo experimental denominado Sistema de Bombeo por energía de Oleaje (SIBEO), el cual tiene una elevada eficiencia desde el punto de vista del costo-beneficio. El objetivo de este sistema es sanear las aguas de los puertos y de las lagunas costeras de los desechos orgánicos y algunas sustancias químicas, aprovechando el movimiento de las olas del mar. Los estudios se realizaron gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, con la colaboración del Instituto de Limnología y Ciencias del Mar (ILyCM), Instituto de Biología y el Instituto de Investigación en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS) todos ellos de la UNAM, así como de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y el CICESE (SENER, 2003).

En 1995 se instaló este equipo de forma temporal en la laguna El Lagartero, en la costa de Oaxaca, con una capacidad de bombeo de 5 litros por segundo. Asimismo, se planea instalar un equipo con capacidad de 200 litros por segundo en el Sauzal, Baja California Sur para el año 2005, con fondos financiados

parcialmente por SEMARNAT y se espera que el resto sea cubierto por el gobierno del estado (SENER, 2003).

De la revisión efectuada a lo largo de este capítulo se puede concluir que México tiene un alto potencial para el aprovechamiento de las diferentes formas de energías renovables, pero es marginal su aplicación en el sistema energético mexicano.

En la siguiente sección se mostrará que contrariamente a este incipiente uso de las nuevas fuentes renovables de energía en México, es posible establecer para el sector eléctrico mexicano un escenario factible desde el punto de vista técnico, económico y ambiental del aprovechamiento a gran escala de las nuevas energías renovables.

4.3. ESCENARIO CON NUEVAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO MEXICANO.

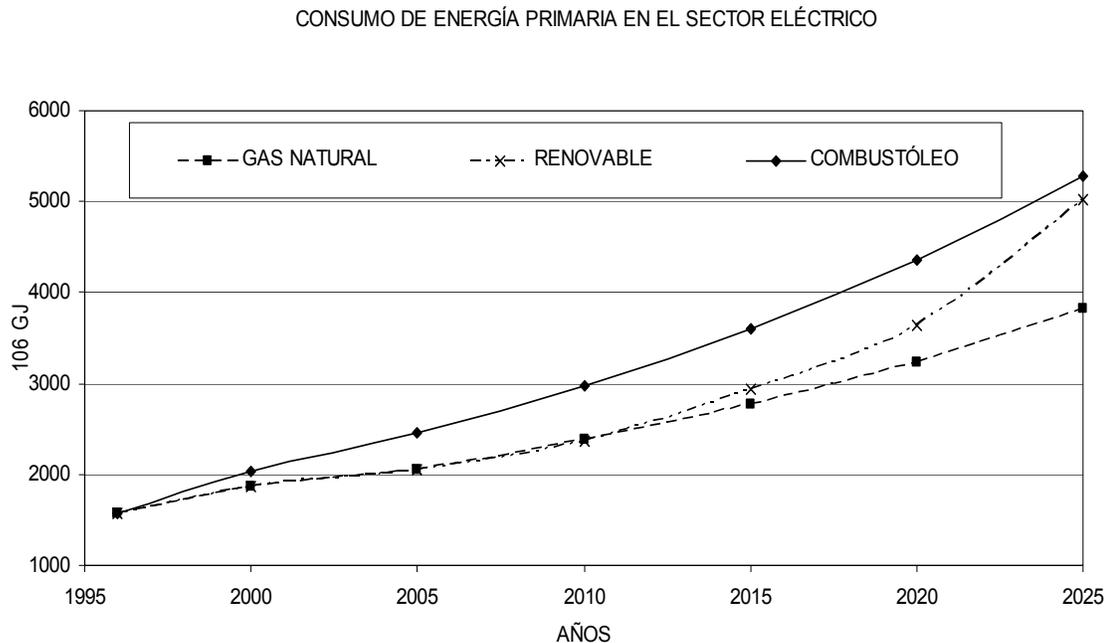
En este apartado se presentan tres escenarios de desarrollo de la oferta eléctrica en México, a saber, el de combustóleo, el de gas natural y el de fuentes renovables de energía (Islas, *et al*, 2004). El primero representa la prolongación en el futuro del modo de expansión de la oferta eléctrica que predominó hasta finales de los años 80. El segundo simula la extensión de la tendencia actual de crecimiento del sector eléctrico que se establece a inicios de los años 90. Por último, el tercero, es un escenario alternativo y posible basado en un uso masivo de las fuentes renovables de energía en el sector eléctrico mexicano. Estos tres escenarios se analizan y comparan desde el punto de vista ambiental y económico para revelar el papel que las nuevas fuentes renovables de energía pueden jugar

dentro del sector eléctrico mexicano. Los escenarios están desarrollados con una metodología, criterios e hipótesis macro económicos, sectoriales y de progreso tecnológico que se presentan en el anexo 1 de este trabajo y los resultados de esta comparación se presentan a continuación.

Consumo de energía primaria

La figura 4.4 muestra la evolución del consumo de energía primaria en el sector eléctrico mexicano en cada uno de los escenarios mencionados. Los distintos niveles de consumo energético de cada escenario expresan diferencias en las eficiencias energéticas de las tecnologías consideradas. Por ejemplo, en el escenario de gas natural el consumo de energía primaria del sector eléctrico es menor que en el escenario de combustóleo y de FRE debido a las eficiencias más altas de las tecnologías de los ciclos combinados (mayores al 50%).

Figura 4.4. Consumo de energía primaria en el sector eléctrico mexicano

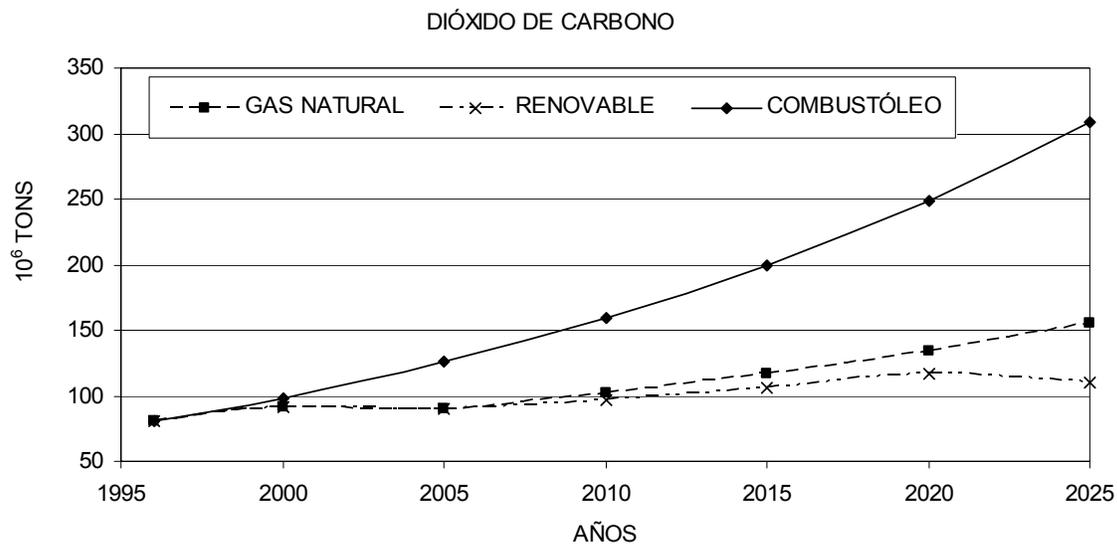


Emisiones de cambio climático

Dióxido de carbono (CO₂). En la figura 4.5 se representan las curvas de la evolución de las emisiones de dióxido de carbono, el gas de cambio climático más importante, para cada uno de los escenarios. Esta figura muestra que el mejor escenario para reducir las emisiones de CO₂ es el de FRE el cual reduce en 64% dichas emisiones en relación al escenario de combustóleo mientras que en el escenario de gas natural la disminución es de 50%.

Las emisiones de CO₂ del escenario FRE en 2025 son 1.4 veces más grandes que las emisiones registradas de este gas en el año 1996 y tienen una tasa de crecimiento anual de 1.1%, mientras que para el escenario de transición estas cifras son de 1.9 y 2.3%, respectivamente. El escenario que más produce este tipo de emisiones es el de combustóleo en el cual las emisiones crecen a una tasa anual de 4.8% y en al año 2025 llega a emitir 3.4 veces más de CO₂ que en 1996.

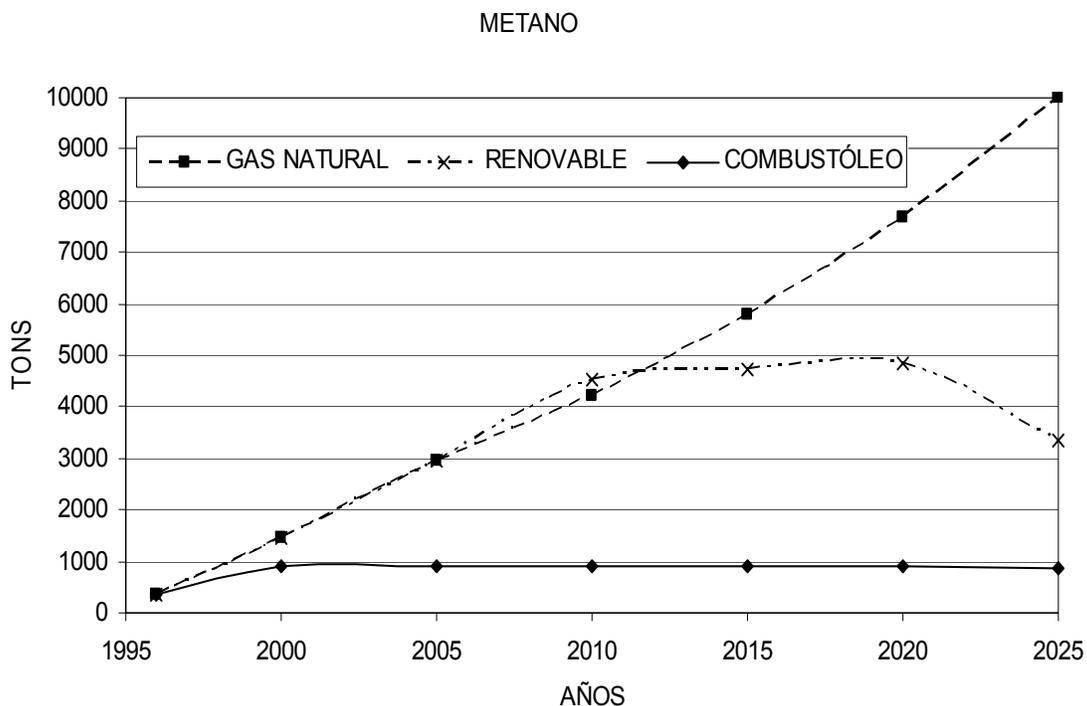
Figura 4.5. Emisiones de CO₂ en el sector eléctrico mexicano.



Una ventaja adicional del escenario FRE es que presenta hacia el año 2020 un punto de inflexión a partir del cual las emisiones anuales comienzan a decrecer. Finalmente, este escenario representa un potencial de reducción promedio de CO₂ de 8.2 millones de toneladas anuales en el periodo 1996-2025.

Metano. Este es el segundo gas de cambio climático más importante. En la fig. 4.6 se muestra que el escenario de combustóleo es el que presenta menores emisiones de metano. El escenario de gas natural es por el contrario el que más las produce y en el año 2025 llegan a ser 1,028% más en relación al escenario de combustóleo, mientras que esta cifra para el escenario FRE es de 277%. La tasa de crecimiento anual de estas emisiones en el escenario de gas natural es de 12% lo que se traduce en el año 2025 en 28 veces más emisiones de metano que en el año 1996. Por último, al igual que en el caso de dióxido de carbono, en el escenario de FRE las emisiones de metano llegan a un máximo en el año 2020 y comienzan a decrecer posteriormente.

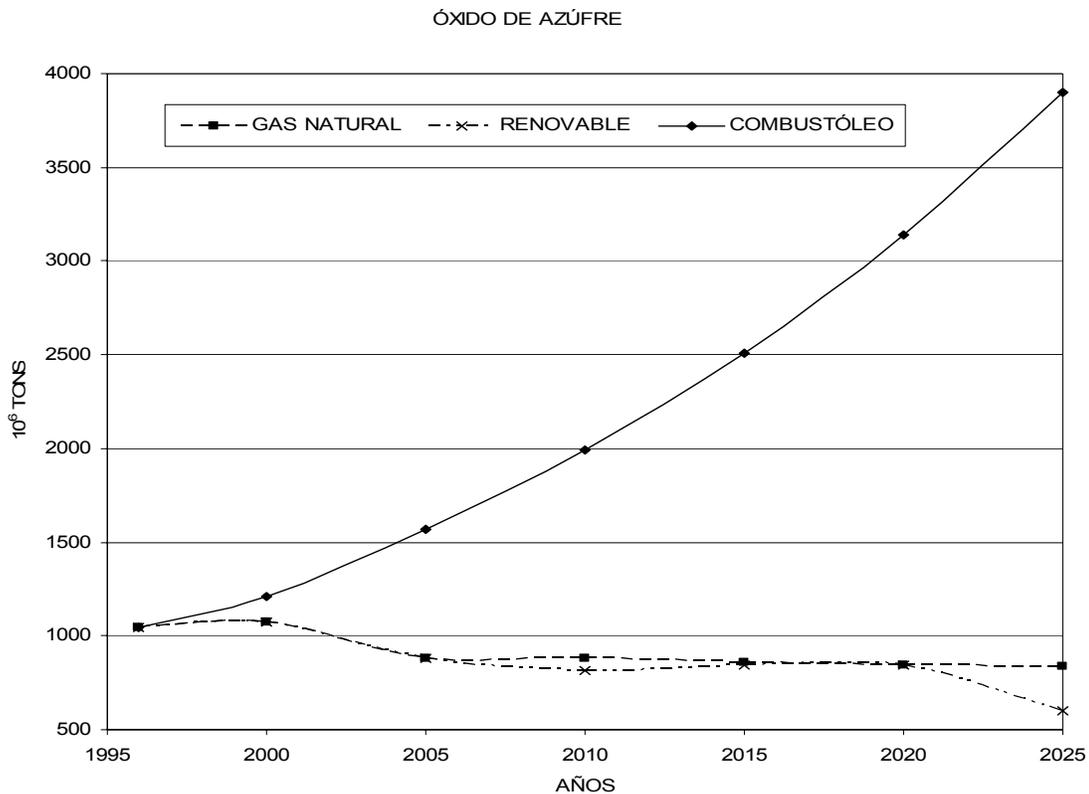
Figura 4.6. Emisiones de metano en el sector eléctrico mexicano.



Precursores de lluvias ácidas

Emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂). La figura 4.7 muestra la evolución de las emisiones anuales de SO₂ desde 1996 hasta 2025 para cada escenario. El escenario de combustóleo es el peor produciendo 3.7 veces más emisiones de SO₂ en el año 2025 en relación a 1996.

Figura 4. 7. Emisiones de SO₂ en el sector eléctrico mexicano



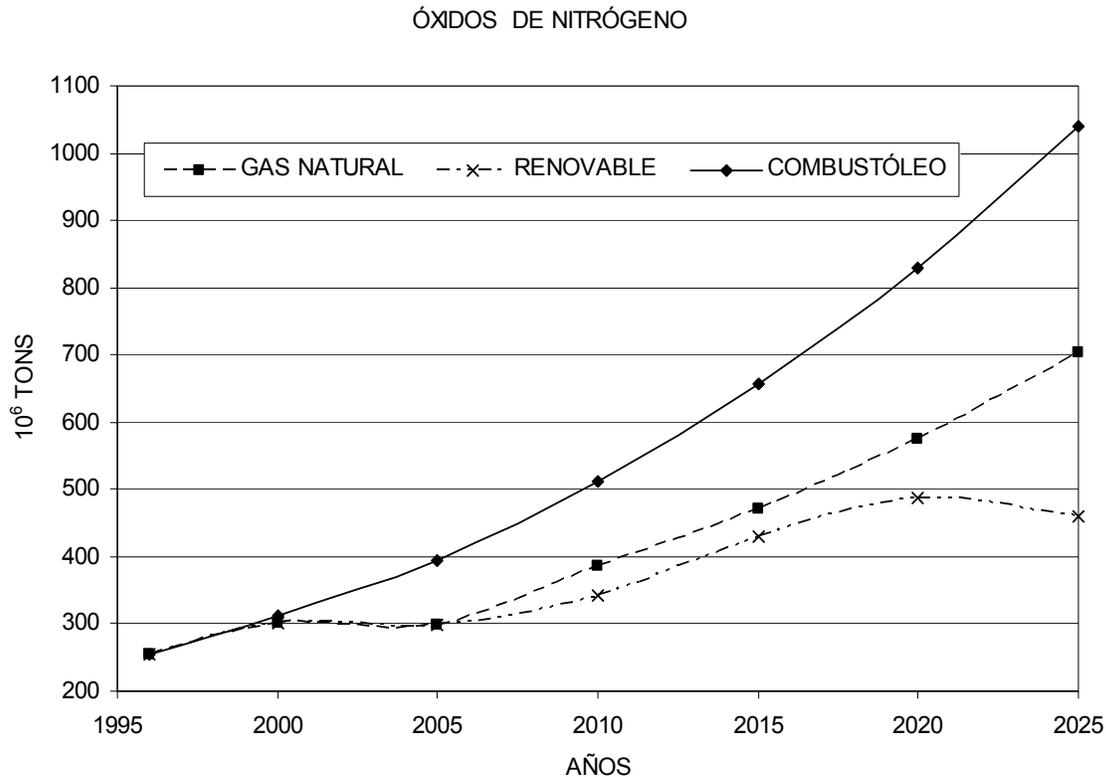
Al final del periodo analizado, las emisiones del escenario de gas natural y de FRE son 0.6 y 0.8 veces más, respectivamente, que en el año de 1996, mientras que las tasas de crecimiento anuales para cada uno de estos escenarios son respectivamente -0.8% y -1.9%. Estas cifras significan fuertes reducciones de estas emisiones en cualquiera de estos dos escenarios. Se observa que debido a su bajo contenido de azufre, en el escenario de gas natural las emisiones de SO₂ decrecen hacia el año 2005 para posteriormente mantenerse prácticamente

 Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

constantes. Se destaca sin embargo, que el escenario de FRE es el que menos emisiones anuales de SO_2 produce y el único que presenta un punto de inflexión hacia emisiones decrecientes en el año 2020. Finalmente, cabe señalar que en el año 2025 el escenario de gas natural emite 1.4 veces más emisiones de SO_2 que el de FRE.

Emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx). En la figura 4.8 se muestran las emisiones anuales de NOx desde 1996 hasta el 2025 para cada escenario. Las tasas de crecimiento anual para los escenarios de Combustóleo, Gas Natural y de FRE son 5%, 3.6%, 2.1% respectivamente. Para el año 2025, el escenario de gas natural produciría 32% menos emisiones de NOx que el de Combustóleo.

Figura 4.8. Emisiones de NOx en el sector eléctrico mexicano.



El escenario de FRE resulta otra vez ser el mejor ya que produciría 56% menos que el escenario de Combustóleo. Para el escenario de FRE las emisiones

anuales crecen a una tasa anual de de 2.1% en el periodo analizado lo que se traduce en el año 2025 en niveles de emisiones anuales que representan 1.8 veces más que en el año de 1996. El escenario de Combustóleo resulta ser el peor con una tasa de crecimiento anual de 5% y 4 veces más emisiones de NOx en 2025 en relación al año de referencia. Estas cifras para el escenario de gas natural son 3.6% y 2.8, respectivamente. Finalmente, como en el caso del CO₂, CH₄ y SO₂, el escenario de FRE es el único en el que las emisiones anuales de NOx comienzan a decrecer después del año 2020.

Indicadores energéticos ambientales

Considerando las emisiones de CO₂, las más importantes emisiones de cambio climático, el análisis de los indicadores energéticos ambientales muestra que en el escenario de FRE estas emisiones anuales por unidad de energía consumida, se reducen en 2025 drásticamente (57%) en relación a su valor de 1996. Para el mismo periodo, este indicador tiene una reducción de 20% para el escenario de Gas Natural, mientras que el escenario de Combustóleo presenta un incremento de 15%. Un desempeño similar se observa en términos de las emisiones CO₂ por unidad de producto interno bruto el cual muestra cambios de -56%, -38% y 23% para los escenarios de FRE, gas natural y combustóleo, respectivamente. Finalmente, en el caso de emisiones de CO₂ *per cápita*, el escenario de FRE muestra reducciones de 3% mientras que el escenario de Gas Natural y de Combustóleo muestra incrementos de 37% y 172%, respectivamente.

Tabla 4.1. Indicadores energéticos ambientales

AÑO	ESCENARIOS	ENERGÍA (millones GJ)	CO ₂ (millones de toneladas)	Metano (toneladas)	NO _x (miles de toneladas)	SO _x (miles de toneladas)
1996		1580	80	360	255	1050
2025	Combustóleo	5280	309	886	1040	3900
2025	Gas natural	3820	156	9990	703	835
2025	Renovable	5020	110	3340	459	602
% de cambio respecto al escenario de combustóleo						
2025	Combustóleo	-	-	-	-	-
2025	Gas natural	-28%	-50%	1028%	-32%	-79%
2025	Renovable	-5%	-64%	277%	-56%	-85%

Evaluación económica

Como quedó explicado anteriormente, los resultados energéticos y ambientales sugieren que los escenarios de gas natural y de FRE son los escenarios posibles más interesantes para explorar. Por esta razón en esta sección se eliminó el escenario de combustóleo, para considerar el escenario de gas natural como el escenario de referencia que permita evaluar el escenario de FRE desde el punto de vista económico. Para la evaluación económica es de especial importancia considerar los costos de mitigación de gases de cambio climático, particularmente de emisiones de CO₂, que se derivan del escenario de FRE en relación al escenario de gas natural. Entendido así, en esta sección se realizará la evaluación económica del escenario de FRE a través de un análisis beneficio-costos y del costo promedio de mitigación del escenario de FRE en relación al escenario de gas natural.

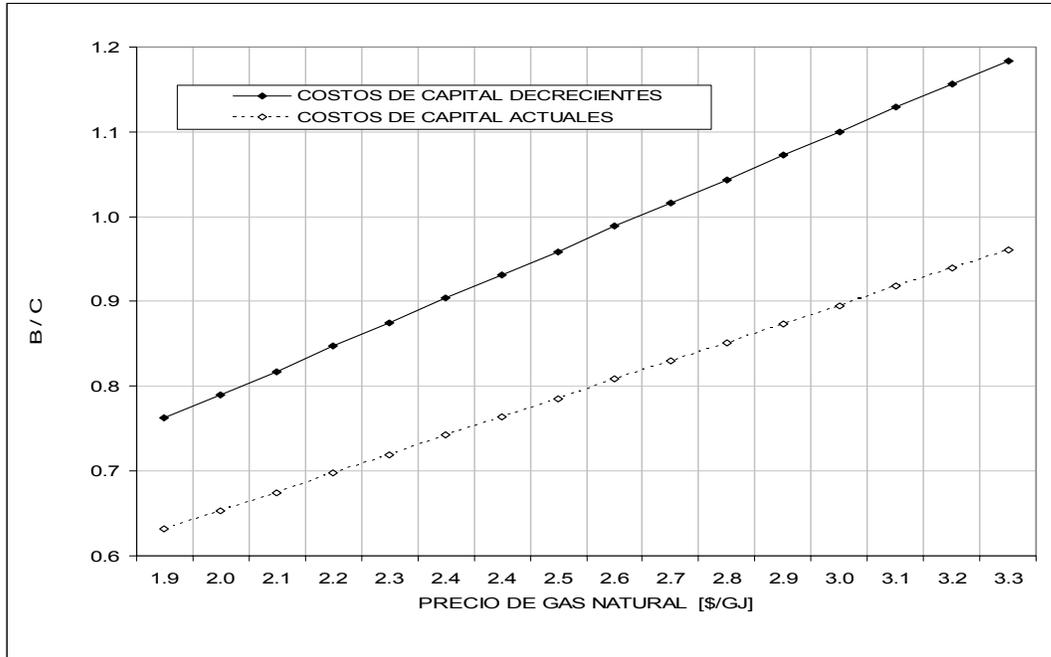
El análisis beneficio-costo y la evaluación de los costos de mitigación que se propone realizar a continuación tiene como base la estimación, por un lado, de los beneficios (B_{GN}) que se obtienen al evitar el escenario de gas natural y, por otro lado, de los costos (C_{FR}) asociados al escenario alternativo de FR, ambos expresados en valor presente. Adicionalmente, para el cálculo de los costos de mitigación es imprescindible calcular la reducción de emisiones de CO_2 que se derivan de la comparación entre el escenario de FRE y el escenario de gas natural.

Finalmente, como un factor determinante en nuestra evaluación económica, se incorpora el progreso tecnológico el cual se expresa en términos de costos de capital decrecientes tomados en la literatura tecnológica internacional (ver anexo I).

Análisis Beneficio- Costo (B/C)

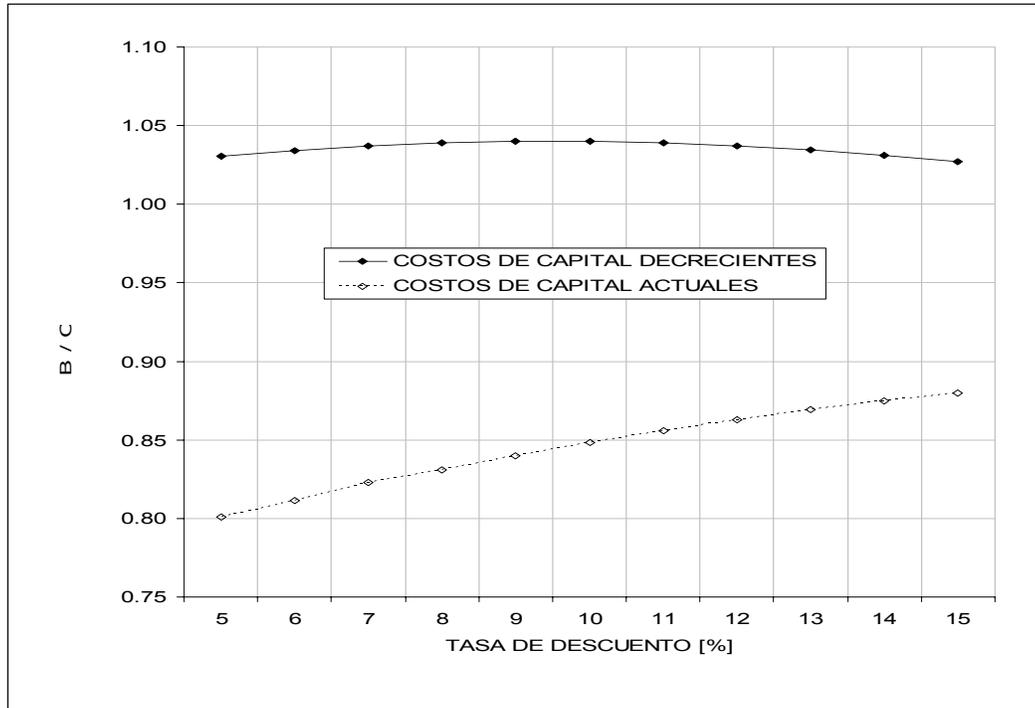
La figura 4.9 muestra que con costos de capital decrecientes de las tecnologías de las FRE (véase tabla 3, anexo I), la razón B/C se iguala a uno a un precio de gas natural de 2.68 \$US 1997/GJ, mientras que el valor de equilibrio que se obtiene sin considerar el progreso tecnológico es de 3.47 US 1997\$/GJ. Esto muestra que el escenario de FRE se hace viable a precios de gas natural cercanos a los precios actuales cuando el progreso tecnológico se toma en cuenta. Además, la relación B/C se incrementa 0.13 a precios bajos de gas natural y 0.22 a precios altos de este energético. Asimismo, el escenario de FRE se convierte en un escenario sin reproche cuando los precios de gas natural son más altos que 2.68 US 1997\$/GJ.

Figura 4. 9. Razón beneficio-costo como función del precio de gas natural



La figura 4.10 muestra el efecto del cambio tecnológico en la relación entre B/C y tasa de descuento, suponiendo un precio constante de gas natural igual a 2.68 \$US 1997/GJ. El progreso tecnológico produce dos importantes efectos sobre esta relación. El primero es que provoca un desplazamiento hacia arriba de la curva B/C vs tasa de descuento. Además, la razón B/C puede ser más grande que uno a precios iguales o más grandes que 2.8 \$US 1997/GJ. El segundo efecto es el que tiende a transformar la curva B/C en una curva independiente de la tasa de descuento debido a las reducciones en el mediano y largo plazo de la intensidad de capital de las fuentes renovables de energía en relación a las tecnologías de gas natural.

Figura 4.10. Razón beneficio-costo como función de la tasa de descuento

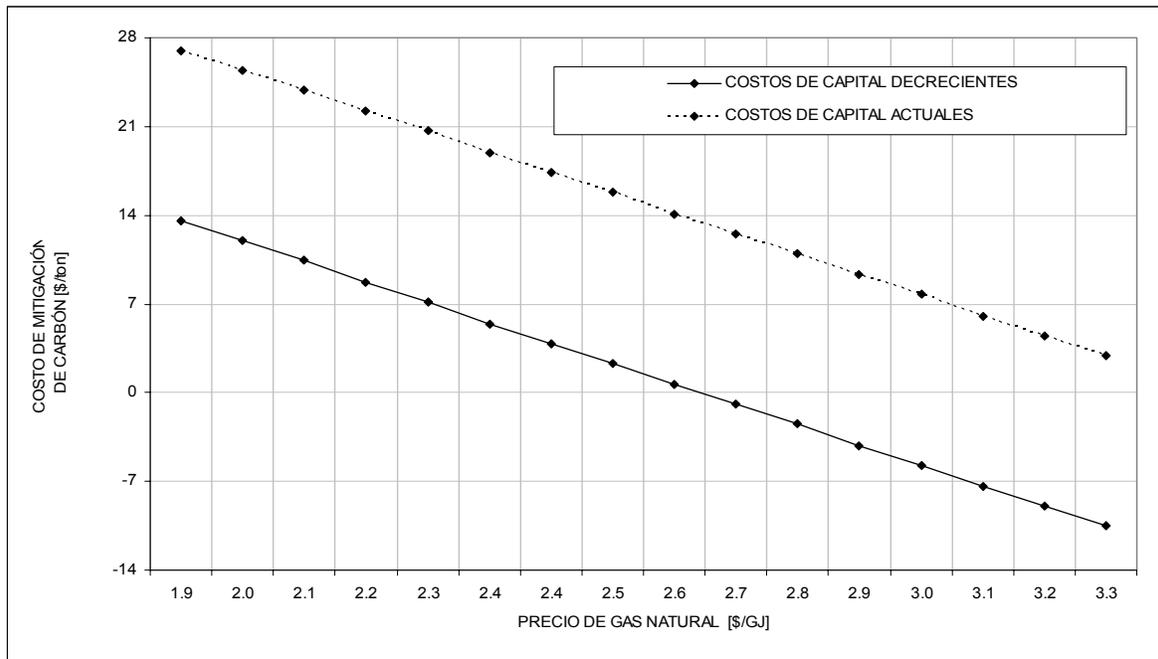


Costos de mitigación

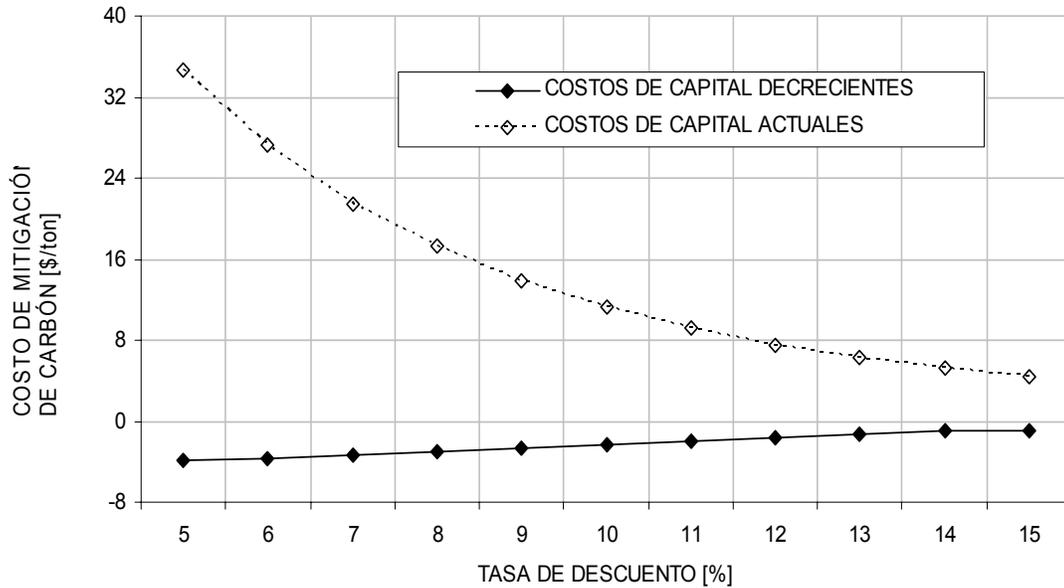
Como se puede apreciar en la figura 4.11 un primer efecto del cambio tecnológico es el disminuir en 13.50 \$US 1997/t CO₂ los costos de mitigación del escenario de las FRE respecto a los valores de la curva de costos de capital actuales. Un segundo efecto es el de la obtención de valores negativos a partir de un precio de gas natural de 2.67 \$US 1997/GJ (3.18 \$2001/MMBTU), el cual es cercano al nivel de precios de los últimos años de este energético. En la figura 4.12 se observa que un tercer efecto del progreso tecnológico es el de aumentar los beneficios en el mediano y largo plazo a tal grado que se obtiene una curva de

costos de mitigación negativa o sin reproche independientemente del valor de la tasa de descuento. Asimismo, se observa que este efecto se acentúa para tasas de descuento bajas.

Figura 4.11. Costo de mitigación como función del precio de gas natural



Este tercer efecto es causado por el fuerte descenso de los costos de capital del escenario transición respecto a los costos de capital del escenario oficial, lo cual tiene como resultado que los beneficios van a converger más rápidamente con los costos del escenario de FRE a medida que el precio aumenta, siendo superior a éstos para precios de gas natural mayores a 2.67 \$US97/GJ.

Figura 4.12. Costo de mitigación como función de la tasa de descuento

Conclusiones sobre los escenarios planteados

En términos generales las evaluaciones en términos energéticos y ambientales, arrojan como información que el escenario de FRE para el sector eléctrico mexicano además de ser el mejor desde el punto de emisiones de CO₂ y de precursores de lluvia ácida, muestra puntos de inflexión y de decrecimiento de estas emisiones hacia el horizonte 2020-2025.

El escenario de gas natural muestra importantes ventajas en términos de reducciones de energía primaria, CO₂, SO₂ y NO_x. Desde este punto de vista, la reforma de 1992 ha tenido resultados positivos considerando el aspecto ambiental. Sin embargo, esto no significa que el escenario de gas natural sea necesariamente el mejor en términos ambientales, particularmente, en relación al problema de cambio climático. Los resultados ambientales más favorables del escenario de FRE lo evidencian como el mejor en términos de política energética y

ambiental para reducir las emisiones de cambio climático y de precursores de lluvias ácidas. Los resultados muestran también que si adoptamos este escenario es posible tener crecimiento económico, satisfacer los requerimientos energéticos del sector eléctrico y reducir al mismo tiempo las emisiones antes mencionadas.

Este trabajo muestra también que mientras la tendencia actual en el sector eléctrico mexicano es la de mantener a niveles marginales la participación de fuentes renovables, existe la posibilidad para incrementar dramáticamente su papel en el mediano y largo plazo. En el escenario de combustóleo en el año 2025 la electricidad producida a partir de fuentes renovables de energía se reduce a 3% mientras que en el de gas natural esta cifra es de sólo 7%. En el escenario de FRE esta producción puede, sin embargo, representar el 68% de la generación. Finalmente, en el escenario de FRE se puede reducir un promedio anual de 8.2 millones de toneladas de CO₂, el principal gas de cambio climático lo que en el periodo 1996-2025 significa una reducción de casi 30% de este tipo de emisiones respecto al escenario de gas natural

En la parte económica, la incorporación del progreso tecnológico es fundamental para obtener escenarios de FRE sin reproche. En el análisis beneficio-costos la inclusión del progreso tecnológico transforma el escenario de FRE en uno sin reproche a precios de gas natural mayores que 2.68 \$US 1997/GJ para una tasa de descuento del 10%. Sin progreso tecnológico los valores obtenidos para los costos de mitigación son siempre positivos y varían de 3 \$US 1997/GJ a 27\$/GJ. Cuando el progreso tecnológico es considerado, estos valores disminuyen en 13.4 \$US 1997/GJ resultando de esto un escenario de FRE sin reproche a precios medios de gas natural.

Sin la consideración de progreso tecnológico, los costos de mitigación son muy sensibles a los valores de las tasas de descuento, son altos, del orden de 30-40\$US 1997 /GJ para tasas de descuento bajas y son bajos, del orden de 7 \$US

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

1997/GJ, para tasas de descuento altas. Por el contrario, cuando se considera el progreso tecnológico los costos de mitigación son bajos (del orden de 1.6 \$/TCO₂) y prácticamente independientes de la tasa de descuento.

Para realizar estos cambios, hay que sobreponerse a varias barreras que existen en el sector eléctrico mexicano. Los siguientes cambios son el mínimo necesario para aspirar a conformar un escenario de fuentes renovables de energía como el que en este trabajo se está planteando:

Aspectos institucionales

Creación de un marco legal y regulatorio para hacer factible el uso y la promoción de las fuentes renovables de energía, en particular impulsando la creación de mercados verdes y la generación distribuida.

El establecimiento y cumplimiento de una normatividad ambiental que tome en cuenta las externalidades que produce el sector eléctrico mexicano.

Creación de normas y estándares para sistemas y equipos que aprovechen las fuentes renovables de energía.

Política energética.

Definir y estipular metas de porcentaje de uso de fuentes renovables de energía en el sector eléctrico mexicano.

Aspectos económicos.

Establecimiento de contratos de largo plazo como principal mecanismo de transacción.

Incentivos.

Creación de un programa de incentivos fiscales y económicos para el fomento de fuentes renovables de energía.

Creación de un programa de financiamiento adaptado a las características técnicas y económicas de las fuentes renovables de energía.

En el siguiente capítulo se propondrá una serie de objetivos, estrategias y acciones que debieran de tener como marco una ley de fuentes renovables de energía, que puede acercarnos más rápidamente a un escenario posible de desarrollo de la oferta energética mexicana basado en un uso masivo de las fuentes renovables de energía.

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE POLÍTICA ENERGÉTICA PARA LAS NUEVAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN MÉXICO

El objetivo de este capítulo es proponer una serie de lineamientos generales de política energética relacionados con el desarrollo y uso de las nuevas fuentes renovables en México. Los planteamientos de este apartado se derivan del análisis realizado en los capítulos previos y, sin pretender abarcar de manera concluyente todos los aspectos implicados en el tema, se consideran como puntos de partida básicos para promover las nuevas energías renovables en nuestro país.

La propuesta técnica que se presenta a continuación se realiza considerando el marco jurídico vigente, específicamente los preceptos contenidos en la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE). Sin embargo debe considerarse que en la actualidad existe un debate respecto a la constitucionalidad, de las nuevas modalidades de participación de generación privada, adoptadas mediante la reforma a esta ley en 1992.

OBJETIVO GENERAL: Alcanzar una participación de las nuevas fuentes renovables (NFRE) del 10% en la oferta energética de México para el año 2015 y 20% para el 2025. Se consideran nuevas fuentes renovables a la energía eólica, la biomasa, la mini, micro y pequeña hidroeléctrica, la solar y la geotermia.

Para cumplir este objetivo se plantea la creación de una *Ley de Energías Renovables* que atienda los siguientes aspectos.

SECTOR ELÉCTRICO

Objetivo específico 1: Alcanzar para el año 2015 una penetración mínima de las nuevas fuentes renovables en la oferta eléctrica del 18% y en el 2025 de 38%.

Estrategia 1: Dentro de la planeación del sistema eléctrico mexicano, se considerará año con año un incremento de la participación de NFRE en la generación eléctrica del país hasta cumplir con el 18% en el año 2015 y 38% en el 2025.

Acciones:

- La CFE estará obligada a fomentar que el 18% de la generación de electricidad del país sea renovable para el año 2015.
- El 18% de la generación eléctrica proveniente de las modalidades de no servicio público definidas en el artículo 3 de la LSPEE, deberá provenir de las NFRE.

Estrategia 2: Crear una figura de productor eléctrico a base de NFRE (productor renovable) que venda su electricidad excedente a la CFE.

Acciones:

- Adicionar al artículo 3 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) la figura de productor renovable. Esta figura podrá autoabastecerse de electricidad y venderle a la CFE y LyFC sus excedentes.
- Elaboración de contratos de interconexión a las redes eléctricas que sean eficientes e incitativos para el aprovechamiento de la electricidad generada por medio de NFRE.
- Se otorgarán a los inversionistas en proyectos renovables incentivos fiscales y financieros.
- Para incentivar las NFRE se propone que el Estado establezca un precio a la electricidad generada a través de ellas, que asegure el funcionamiento rentable de la planta y una rápida amortización de la inversión, a través de tarifas diseñadas para favorecer a los productores renovables.

- La CFE se obligará a comprarle a los productores renovables la electricidad excedente para integrarla al sistema eléctrico nacional.

Estrategia 3: Programa para fomentar el uso masivo de la energía eólica para generación eléctrica.

Acciones:

- Protección legal de las regiones apropiadas para instalaciones eólicas mediante su calificación como zonas especialmente destinadas a este uso.
- Reglamentación del uso del suelo en donde se encuentra el recurso y determinación de rentas o expropiaciones justas que expresen el valor del recurso para los propietarios originales.
- Incentivar la coordinación y las sinergias entre los recursos eólicos, hidráulicos y sistemas de almacenamiento (baterías cargadas con generadores eólicos o sistemas fotovoltaicos) para asegurar la calidad y continuidad del suministro eléctrico a partir del uso en gran escala de sistemas fotovoltaicos.
- Implementar el desarrollo de este programa en un marco de desarrollo sustentable en las regiones en donde se encuentra el recurso, asegurando que los beneficios (empleo, capacitación, servicios, etc.) sean un catalizador del desarrollo de los habitantes locales.
- Aplicación de incentivos de largo plazo en función de la generación eléctrica producida que aseguren la rentabilidad de los proyectos.

Estrategia 4: Uso de recursos hidráulicos de pequeña escala para generar electricidad.

Acciones:

- Dispensa de los derechos de aguas para los proyectos de pequeñas centrales hidráulicas.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- Los excedentes de electricidad serán vendidos a la CFE regulados bajo el esquema de productor de energía renovable como lo señalaría la modificación a la LSPEE propuesta en la estrategia N.2.
- Otorgamiento de créditos blandos de desarrollo rural para los municipios o usuarios de estos sectores que se interesen en aprovechar este recurso.

Estrategia 5: Electrificación de zonas rurales a través de NFRE.

Acciones:

- Instaurar programas para cubrir necesidades eléctricas domésticas, de proyectos productivos y educativos en comunidades rurales aisladas empleando NFRE (micro, mini y pequeño hidráulico, solar, eólico y de biomasa)
- Elaborar un programa de incentivos fiscales, económicos y financieros para la realización de estos proyectos.
- Extensión del subsidio proveniente del sector eléctrico a los 5 millones de habitantes que viven en zonas alejadas de la red eléctrica para financiar proyectos renovables de electrificación rural.

Estrategia 6: Uso de módulos fotovoltaicos para alimentar pequeños refrigeradores para conservación de medicinas en hospitales rurales.

Acciones:

- Equipar con módulos fotovoltaicos hospitales rurales que se encuentren principalmente, en zonas no electrificadas para la refrigeración de medicinas.

Objetivo específico 2: Creación, implementación y mantenimiento de un mercado de certificados verdes.

Estrategia 1: Identificación de los componentes, restricciones y participantes potenciales del mercado.

Acciones:

- Campaña de concientización a los participantes y al público en general sobre las características y beneficios de este mercado.
- Análisis costo- beneficio que incluya externalidades evitadas respecto a las tecnologías que utilicen fuentes convencionales, así como los costos de transacción incluidos y los costos de implantación.

Estrategia 2: Creación del marco jurídico que regule al mercado.

Acciones:

- Considerar la regulación de mecanismos de cotización de los certificados, de asignación, tasas impositivas, régimen de propiedad de los certificados, y procedimientos de transferencia.
- Designación de un organismo que regule el mercado, la incorporación de nuevos participantes, la asignación de certificados y el arbitraje.

SECTOR RESIDENCIAL, COMERCIAL, PÚBLICO, COMUNICACIONES Y EDUCATIVO.

Objetivo específico 3: Uso de energías renovables en el sector público de servicios, edificios públicos y viviendas de interés social.

Estrategia 1: Aprovechar el biogás producido a partir de desechos sólidos municipales para generar electricidad.

Acciones:

- Obligación legal y gestión del financiamiento para reconvertir los vertederos de basura actuales a cielo abierto en rellenos sanitarios.
- Establecer convenios con los gobiernos municipales y/o estatales para que utilicen el metano producido en rellenos sanitarios para la generación de electricidad que sea utilizada en el servicio público.
- Aprovechamiento energético de los residuos orgánicos en plantas de tratamiento de aguas negras.
- Otorgar incentivos económicos para asegurar la rentabilidad de estos proyectos.

Estrategia 2: Uso de calentadores solares para calentamiento de agua y calefacción en hospitales, clínicas y edificios públicos.

Acciones:

- Obligación legal para que todos los edificios y hospitales y clínicas del IMSS y del ISSSTE sean equipados con calentadores solares para suministro de agua sanitaria caliente y calefacción.

Estrategia 3: Implantación de sistemas fotovoltaicos para autogeneración de electricidad en edificios públicos.

Acciones:

- Obligación legal para que todos los edificios públicos nuevos o renovados sean equipados con fachadas solares con celdas fotovoltaicas para autogeneración de electricidad.

Estrategia 4: Incorporar los sistemas fotovoltaicos para sistemas de alumbrado público.

Acciones:

- Obligación legal para iluminar los parques públicos, señales de circulación, señalización con boyas en el mar, cabinas telefónicas y otras.

Objetivo específico 4: Programa de instalación de sistemas solares para diversos usos en los sectores residencial y de servicios.

Estrategia 1: Instalar calentadores solares en el sector residencial.

Acciones:

- Realizar un programa de difusión en medios masivos de comunicación para concientizar a los consumidores sobre los beneficios de utilizar sistemas solares para el calentamiento de agua en los hogares, enfatizando el ahorro que significa el no consumir gas LP y sus beneficios ambientales.
- Otorgar créditos a consumidores que se encuentren interesados en instalar colectores solares planos en su vivienda.
- Incentivar fiscalmente a los fabricantes de colectores solares planos con el objetivo de disminuir el precio de la tecnología para hacerla más accesible al usuario.
- Incentivar el uso de estos sistemas para el calentamiento de agua de albercas.
- Modificación de reglamentos de construcción para obligar a la instalación de calentadores solares en nuevas construcciones.
- Obligación legal para equipar con calentadores solares los proyectos de vivienda de interés social.
- Obligación legal para que el proyecto arquitectónico de viviendas de interés social se construya con criterios de arquitectura solar.

Estrategia 2: Instalar colectores solares en hospitales públicos y privados y hoteles.

Acciones:

- Otorgar incentivos fiscales y financieros a hospitales y hoteles para que instalen colectores solares para el calentamiento de agua.

Estrategia 3: Uso de sistemas fotovoltaicos en el sector de comunicaciones y educativo.

Acciones:

- Implantar sistemas fotovoltaicos autónomos para estaciones repetidoras, microondas y telefonía aislada.
- Implantar sistemas fotovoltaicos autónomos para sistemas educativos en zonas remotas.
- Creación de normas oficiales que regulen el uso de estos sistemas.

SECTOR INDUSTRIAL

Objetivo específico 5: Fomentar el uso de tecnologías para generación de calor que utilicen fuentes renovables de energía en las ramas industriales.

Estrategia 1: Precalentamiento de agua para procesos industriales y usos sanitarios con colectores solares planos.

Acciones:

- Propiciar la instalación de colectores solares planos otorgando incentivos fiscales a industrias para el precalentamiento de agua y otros fluidos, así como para el procesamiento de alimentos y uso sanitario.

Estrategia 2: Uso de sistemas de concentración solar para suministrar energía a los procesos térmicos industriales.

Acciones:

- Propiciar la instalación de sistemas de concentración solar otorgando incentivos fiscales a industrias para el suministro de energía a los procesos térmicos industriales.

SECTOR AGRÍCOLA, GANADERO, FORESTAL Y DE PESCA.

Objetivo específico 6: Uso de energías renovables en diversas actividades de los sectores agrícola, pesca, ganadería y forestal.

Estrategia 1: Uso de sistemas solares.**Acciones:**

- Creación de un programa de sistemas fotovoltaicos en los sectores agrícola y pesca para la generación de enfriamiento y producción de hielo que coadyuven a la conservación de productos perecederos.
- Creación de un programa de uso de sistemas solares para el secado de granos y madera.
- Programa de sistemas fotovoltaicos en el campo para la generación de electricidad aplicada al bombeo de agua de riego y abrevaderos.
- Créditos blandos para los usuarios que se interesen por adquirir esta tecnología.
- Capacitación por parte del Estado para el uso adecuado de estas tecnologías.

Estrategia 2: Uso de residuos agrícolas para generar electricidad.**Acciones:**

- Fomentar inversiones en el campo para que a partir de los residuos agrícolas se genere electricidad.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- El Estado proporcionará la ayuda técnica que requieran los generadores agrícolas para la instalación y el mantenimiento de las plantas.
- Los excedentes de electricidad serán vendidos a la CFE regulados bajo el esquema de productor de energía renovable propuesto en el objetivo específico 1, estrategia 2.
- Créditos blandos para los usuarios de estos sectores que se interesen por adquirir esta tecnología.

Estrategia 3: Incentivar la producción de etanol en la industria azucarera para ser usado como combustible.

Acciones:

- Identificar los ingenios que cuenten con destilerías y que se encuentren interesados en la producción de etanol.
- Otorgamiento de créditos a las destilerías para habilitarlas con la tecnología adecuada para la producción, almacenamiento y transporte del etanol.
- Exención impositiva para la producción del etanol.
- El Estado fijará el precio de venta del etanol considerando los costos y los ingresos para los productores.

Estrategia 4: Incentivar el uso de plantaciones agroenergéticas.

Acciones:

- Promover inversiones para cultivos agroenergéticos, cuyos productos servirán para la producción de alimentos y de leña de consumo industrial y del sector doméstico rural.
- El Estado proporcionará un programa de financiamiento rural para apoyar a pequeños productores agrícolas en la reconversión del uso de suelo a plantaciones energéticas.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- El Estado deberá realizar campañas de educación a nivel nacional para mostrar los beneficios de desarrollar cultivos agroenergéticos.
- El Estado proveerá ayuda en forma de asesoría en la metodología de cultivo y el cuidado de la plantación y sobre las asociaciones de cultivos agroenergéticos adecuados a la localidad y clima donde se encuentren.

SECTOR TRANSPORTE

Objetivo específico 7: Uso de energías renovables en el sector transporte.

Estrategia 1: Utilizar el etanol como un oxigenante de la gasolina.

Acciones:

- Petróleos Mexicanos estará obligado a mezclar en las gasolinas un 20% de etanol al precio fijado por el Estado, sustituyendo el éter metil terbutílico (MTBE).

Estrategia 2: Utilizar el etanol y el biodiesel como combustibles en el sector transporte.

Acciones:

- Establecer un programa nacional de reconversión de motores para el uso etanol y biodiesel.
- Establecer una política de precios favorables al uso de etanol y biodiesel en relación a la gasolina y diesel convencional.
- Crear un programa de difusión para promover el uso del etanol en el parque automotriz.
- Crear un programa entre el Estado y la industria automotriz para comercializar nuevos automóviles con tecnología adecuada para el uso del etanol y biodiesel como combustible.

Estrategia 3: Utilizar el etanol y biodiesel como combustible en el sector de transporte público.

Acciones:

- Identificar el parque vehicular público susceptible de utilizar etanol o biodiesel con una adecuada modificación de sus motores.
- Creación de un programa piloto para el uso de etanol o biodiesel en el transporte público dentro de las principales ciudades del país.
- El nuevo parque automotriz para transporte público deberá contener la tecnología adecuada para el uso del etanol o de biodiesel como combustible.

ESTADO Y SOCIEDAD

Objetivo específico 8: Apoyo del Estado en lo concerniente en la coordinación, gestión y financiamiento para la evaluación y asesoría para un uso eficaz de las NFRE.

Estrategia 1: Evaluar el potencial existente en México de las NFRE.

Acciones:

- El Estado a través de SENER y su coordinación diversos institutos de investigación, se encargará de evaluar el potencial de las NFRE en México.

Estrategia 2: Apoyo y asesoría del Estado para hacer factible un uso masivo de las NFRE.

Acciones:

- Creación de un órgano del Estado que asesore y coordine los estudios de evaluación local del recurso, la factibilidad técnica y económica, y la instalación y mantenimiento de las tecnologías de NFRE.

Objetivo específico 9: Fomento a la investigación y desarrollo en nuevas fuentes y tecnologías renovables.

Estrategia 1: Apoyo económico y administrativo a las instituciones y dependencias relacionadas con la investigación y desarrollo tecnológico de las NFRE.

Acciones:

- Asegurar desde el punto de vista presupuestario el fortalecimiento de las capacidades de infraestructura y de recursos humanos, y del financiamiento relacionados con la investigación básica y al desarrollo tecnológico de las NFRE en nuestro país.
- Los programas del gobierno federal dirigidos a las NFRE serán realizados y desarrollados con la participación de las instituciones de investigación en la materia.
- Apoyar la labor de las instituciones de investigación relativos a la divulgación del uso de las NFRE.
- Integrar a las instituciones de investigación del país en el diseño de políticas energéticas sobre NFRE.
- Integrar a las instituciones de investigación en la creación de normas y certificación de tecnologías y equipos que utilicen energías renovables.
- Otorgar incentivos fiscales a empresas que quieran participar en el financiamiento de la investigación y desarrollo en tecnologías renovables de las instituciones.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- Apoyar la celebración de convenios entre instituciones nacionales y de cooperación internacional para la realización de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico y aplicación en energías renovables.
- Impulsar la celebración de convenios entre los centros de investigación y las empresas públicas para desarrollar proyectos de investigación y tecnológicos demostrativos con energías renovables.

Objetivo específico 10: Convertir a las energías renovables en un impulsor del desarrollo social.

Estrategia 1: Participación de todos los sectores de la sociedad en el desarrollo y utilización de las NFRE.

Acciones:

- El gobierno federal a través de los organismos competentes, realizará una campaña de difusión en los diversos medios de comunicación cuyo objetivo sea impulsar el uso de las NFRE en el sector residencial, comercial, público e industrial.
- Crear un programa de difusión hacia todas las empresas del país de los beneficios económicos, sociales y ambientales que ofrecen las NFRE como una opción innovadora en el campo energético.

Estrategia 2: Políticas educativas y de difusión de las energías renovables.

Acciones:

- La Secretaría de Educación Pública, revisará sus planes de estudio de educación básica y media superior para integrar, temas referentes al cuidado de la energía y del ambiente, enfatizando el uso de las energías renovables como una solución viable para disminuir los problemas que ocasionará el cambio climático, lluvias ácidas, precursores de ozono,

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

formación de NOx, etc. De esta forma se pretende crear conciencia entre la población infantil y juvenil de nuestro país.

- Crear un programa conjunto con las universidades del país para que por lo menos dos veces por año, se presenten seminarios dirigidos a los estudiantes con el objetivo de crear conciencia de las diversas opciones que las fuentes renovables ofrecen para el cuidado de nuestros recursos naturales y de nuestro ambiente.

Estrategia 3: Planeación participativa en comunidades indígenas.

Acciones:

- Realizar un estudio de las comunidades indígenas para ubicar el potencial que ofrecen para el fomento de las NFRE.
- Una vez ubicado este potencial, el Estado conjuntamente con las instituciones del país encargadas del desarrollo de las NFRE, determinará en conjunto con las comunidades las tecnologías que se pueden implementar en estas zonas.
- Las comunidades nombrarán a representantes que trabajarán en conjunto con instituciones de investigación que les asesorarán en el empleo de las tecnologías seleccionadas para el uso de las energías renovables de su comunidad.
- El grupo comunitario informará anualmente al organismo encargado de la supervisión y el asesoramiento de este tipo de energías sobre el desempeño de las NFRE, a fin de mantener su funcionamiento en estado óptimo.

Estrategia 4: Incorporación de los haberes tradicionales y culturales en las estrategias de desarrollo de energías renovables.

Acciones:

- Buscar la participación de las mujeres en pequeños grupos que se encarguen de informar periódicamente a las autoridades de las problemáticas energéticas a las cuales se enfrente su comunidad.
- Los municipios trabajarán en conjunto con las instituciones encargadas de las energías renovables, una vez que reciban los informes a los que se hace referencia en el punto anterior, de esta forma se buscarán las mejores opciones que se pueden implementar en el campo de las energías renovables para cubrir las necesidades energéticas básicas de las diversas localidades en concordancia con la cultura local.

Objetivo específico 11: Creación de un fondo verde para el financiamiento y la constitución de un programa de incentivos económicos de fomento al uso de las NFRE en México.

Estrategia 1: Establecimiento de impuestos ecológicos al uso de hidrocarburos.

Acciones:

- El Estado evaluará las externalidades generadas por el uso de combustibles a base de hidrocarburos.
- Aplicación por parte del Estado de un impuesto ecológico en la compra de combustibles a base de hidrocarburos que represente el valor de las externalidades generadas.
- Con el impuesto aplicado se creará un fideicomiso verde que tendrá como función ofertar financiamientos blandos y programas de incentivos económicos para fomentar el uso de las fuentes renovables de energía así como proyectos tecnológicos demostrativos del empleo de estas fuentes.

Objetivo específico 12: Creación de un programa de incentivos fiscales para fomentar el uso de las NFRE en México.

Estrategia 1: Establecimiento de un programa nacional de incentivos fiscales de fomento al uso de tecnologías de fuentes renovables de energía.

Acciones:

- El Estado establecerá una política de tasas preferenciales de impuestos y depreciación acelerada de activos favorable al uso de fuentes renovables de energía.

Objetivo específico 13: Para asegurar la pertinencia de estos objetivos, metas, estrategias y acciones se convocaría a las instituciones nacionales de investigación, ONG's, representaciones sociales y empresariales, y representantes del poder legislativo y ejecutivo relacionados en la problemática de las energías renovables a conformar un grupo de trabajo para analizar la presente propuesta de lineamientos para un plan y una iniciativa de ley de fuentes renovables de energía.

Estrategia 1: Realización de una ley de fuentes renovables de energía

Acciones:

- Realizar foros de discusión en los cuales participen los especialistas en la materia.
- Realizar seminarios cuyo objetivo es invitar a especialistas de diversos países en donde se han desarrollado las fuentes renovables, para que expongan la experiencia de su país.
- Las instituciones mencionadas nombrarán a sus representantes, los cuales constituirán el grupo de trabajo que estará integrado también por representantes del Poder Ejecutivo y Legislativo.
- Las instituciones trabajarán en conjunto para identificar los principales objetivos, metas, estrategias y acciones que cumplan con el objetivo general.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- El grupo de trabajo realizará la propuesta de iniciativa de Ley que será presentada al poder Ejecutivo y Legislativo para su estudio y análisis.

CONCLUSIONES

A partir de la Revolución Industrial el sistema energético mundial pasó por dos importantes transiciones, la primera de ellas, determinó la conversión de recursos energéticos fósiles en trabajo mecánico gracias al surgimiento de la máquina de vapor. La segunda transición que inicia con el siglo XX se caracterizó por la creciente diversificación de las tecnologías de uso final energético y de las fuentes de abastecimiento de energía, a partir principalmente, del descubrimiento de la electricidad y del perfeccionamiento del motor de combustión interna. Sin embargo, en esa etapa también comenzó una creciente dependencia del petróleo para cubrir las necesidades cada vez mayores de combustibles para generación eléctrica y transporte.

El crecimiento de la población mundial, la industrialización, los procesos de urbanización y las crecientes necesidades de transporte de personas, de insumos y de mercancías, determinaron el inicio de nuevos y mayores requerimientos energéticos que las fuentes tradicionales como la leña ya no podían cubrir a un nivel masivo. Por esta razón, la participación de este energético en la oferta mundial dejó de ser mayoritaria para cubrir apenas el 14% de esta oferta en el año 2000 y actualmente, a pesar de la posibilidad de aprovechar otras fuentes energéticas primarias, continuamos viviendo una etapa en donde el patrón de energía está dominado por los recursos fósiles.

Este patrón de producción y consumo de energía tiene consecuencias ambientales alarmantes. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de bióxido de carbono (CO_2) no biogénico. Los productos de esta combustión aumentan la concentración global de CO_2 en la atmósfera propiciando un cambio climático planetario debido a que el CO_2 es un gas de efecto invernadero. Regionalmente, se emiten emisiones de bióxido de azufre (SO_2) el cual es un gas precursor de la lluvia ácida de la atmósfera que afecta

negativamente a cultivos, bosques, lagos y ríos, y bienes inmuebles, mientras que a nivel local se generan emisiones de partículas y gases precursores de ozono (O_3) que provocan importantes daños a la salud.

Bajo estas condiciones, surge entonces la interrogante sobre si la dependencia respecto a los combustibles fósiles debe ser mantenida en el futuro, y si los gobiernos deben empezar a visualizar una transición hacia otras formas de energía, principalmente de tipo renovable. Para esto, las políticas públicas a diseñarse en el futuro, deberán considerar las restricciones de tipo ambiental, el otorgamiento de oportunidades económicas y de mejoras ambientales, el desarrollo científico y tecnológico, la industrialización de nuevas tecnologías y la incorporación de nuevas prácticas de producción, el aprovechamiento de recursos endógenos y la seguridad energética.

En el ámbito nacional, México no escapa a esta situación, debido a que su sistema energético está sustentado en la producción y consumo de combustibles fósiles esencialmente derivados del petróleo, con un 80% de la oferta interna bruta de energía primaria. El sistema eléctrico nacional es el sector que más claramente refleja la evolución hacia este patrón de consumo: a finales de la década de los años sesenta las grandes centrales hidroeléctricas representaban el 57% de la capacidad eléctrica instalada, mientras que para marzo de este año, este tipo de plantas participaron con el 21% y las que utilizan fuentes fósiles con el 74%. En el futuro la tendencia actual indica que este patrón se incrementará a través de una expansión de gas natural.

El progreso científico y tecnológico ha favorecido el surgimiento de nuevas formas de energías renovables, que en este trabajo denominamos "*nuevas fuentes renovables de energía*", a saber, bioenergía, solar, geotérmica, pequeña, mini y microhidráulica, eólica, maremotriz e hidrógeno renovable. La mayor parte

de estas fuentes, gracias a los altos potenciales regionales de aprovechamiento y al avanzado desarrollo tecnológico son competitivas o se encuentran en el umbral económico para poder satisfacer necesidades energéticas en todos los sectores de consumo final y producción de energía. Más aún, ofrecen la posibilidad de construir un sistema sustentable de producción de energía debido a sus ventajas ambientales, sociales, industriales, de impulso al crecimiento económico regional y local y de desarrollo científico y tecnológico.

En el ámbito mundial, el planteamiento del Protocolo de Kyoto puede ser un punto de partida para la nueva transición energética, al convocar a la reducción de las emisiones de gases de invernadero a los países desarrollados y a algunos países con economías en transición, cuyos patrones de producción y consumo energético podrían tener profundas modificaciones a raíz del cumplimiento de este acuerdo. En este aspecto los países industrializados como los de la Unión Europea, han establecido una serie de políticas que obligan a los Estados miembros a cumplir con objetivos y metas encaminados a lograr una mayor participación de las nuevas fuentes de energía renovables en su sector energético.

En el caso de los países en vías de desarrollo, además de una solución a esta problemática ambiental, las nuevas energías renovables representan un potencial que manejado adecuadamente les permitirá cubrir las necesidades energéticas básicas de su población, disminuir los niveles de pobreza, e impulsar el desarrollo económico.

El intento más reciente por integrar los esfuerzos internacionales en materia de energías renovables es la Conferencia Internacional para las Energías Renovables efectuada en Bonn en 2004. Para los países participantes, entre los que estuvo México, esta conferencia implicó la adquisición de nuevos compromisos para fomentar el uso de las energías renovables y el fortalecimiento

de las acciones en materia política, tecnológica, social, económica y en aspectos de cooperación internacional.

La experiencia internacional muestra que desde hace más de una década algunos países han avanzado en la elaboración de políticas energéticas dirigidas al fomento en gran escala de las nuevas fuentes renovables de energía en aras de lograr un desarrollo sustentable. De hecho, en estos países estas fuentes se encuentran ya incluidas como parte esencial de la política energética nacional. El análisis de las experiencias internacionales en este estudio, nos indica la relevancia de establecer un marco jurídico y la creación de incentivos económicos y financieros adecuados para fomentar un uso masivo de estos energéticos.

Este trabajo muestra que en México existe un alto potencial de fuentes energéticas renovables y que es posible establecer escenarios tecnológicamente y económicamente factibles, con grandes ventajas ambientales, como el llamado escenario RENOVABLE, expuesto en el capítulo 4, el cual, sin embargo, requiere de un marco legal adecuado para impulsar su realización. El carácter renovable de estas nuevas fuentes contrasta con la naturaleza finita de los recursos fósiles nacionales cuyas reservas probadas, según las últimas evaluaciones, se agotarán en los próximos 20 años de continuar las tasas actuales de explotación. En este contexto, es urgente plantear políticas que frenen este patrón de producción y consumo de energía basado en los combustibles fósiles, y posteriormente, revertirlo paulatinamente.

Paradójicamente, en nuestro país el uso de las nuevas fuentes renovables de energía tanto del lado de la oferta como de la demanda aún es incipiente y las políticas orientadas a fomentarlas se reducen a las incluidas en los programas nacionales de energía en donde si bien se reconoce cada vez más su importancia, en los hechos, las acciones para impulsar un programa de envergadura favorable hacia las nuevas fuentes renovables de energía han sido insuficientes.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

En esta investigación se propone un escenario con nuevas fuentes renovables de energía de aplicación factible, en términos técnicos y económicos en el sistema energético mexicano, estableciéndose la posibilidad de aumentar su participación hasta constituir un 20% de la oferta interna de energía primaria en el año 2025. Sin embargo, una de las premisas básicas de este documento es la necesidad de crear de un marco jurídico que las fomente a escala masiva. Por esta razón, los resultados del análisis realizado se complementaron con una propuesta de lineamientos de política energética enfocados al uso de las fuentes renovables de energía en México.

Si bien los elementos planteados en esta última parte no pueden considerarse como un programa formal de política de fuentes renovables, sí se consideran como un punto de partida para el establecimiento a futuro de un marco legal que sustente el desarrollo de las nuevas fuentes renovables de energía. Entre los aspectos más importantes que se abordan en estas propuestas está: creación de una modalidad de productor verde, obligatoriedad a la empresa estatal de comprar la energía eléctrica producida por generadores verdes, obligatoriedad de sustitución del MTBE por etanol para la oxigenación de gasolinas, uso del etanol como gasolina, creación de un mercado de certificados verdes, creación de un fondo verde para impulsar un programa de incentivos económicos y financieros, mayor participación por parte de los institutos de investigación para el desarrollo de estas fuentes, apoyos financieros por parte del Estado a instituciones que promuevan el desarrollo y la investigación en este campo, y electrificación rural a través de energías renovables, entre otros.

La realización de este trabajo muestra que en materia de nuevas fuentes renovables de energía, México cuenta con muchos factores favorables, comenzando por el vasto potencial identificado y, en algunos casos, como la geotermia, con un nivel aceptable de aprovechamiento y desarrollo tecnológico. Sin embargo, también existen retos significativos que deberán resolverse de la

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

forma más efectiva posible, como es el desarrollo de mecanismos políticos y normativos que impulsen el aprovechamiento de ese potencial de la manera más óptima y con los mayores beneficios a la población, a la economía y al medio ambiente. Ante la complejidad de esta tarea debe recordarse que, a la luz de las experiencias internacionales ahora conocidas, las nuevas fuentes renovables de energía son un elemento clave para iniciar una nueva transición energética que contribuirá significativamente al desarrollo sustentable de nuestro país.

ANEXO I:

**METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN
DE ESCENARIOS DEL SECTOR ELÉCTRICO
MEXICANO**

Para construir futuros alternativos energéticos en el sector eléctrico mexicano y poder deducir por comparación el desempeño ambiental y económico de un escenario basado en un uso a gran escala de fuentes renovables de energía. De esta manera, los resultados obtenidos se integran de la manera más armoniosa posible y con una visión de conjunto

Tabla 1. Hipótesis para la formulación de escenarios en el sector eléctrico mexicano.

Hipótesis generales		Tasa de crecimiento anual		
PRODUCTO INTERNO BRUTO		4%		
POBLACIÓN		1.21%		
DEMANDA DE ENERGÍA		4%		
DEMANDA DE ELECTRICIDAD		4%		
CAPACIDAD INSTALADA		3.4%		
DEMANDA PICO		0.1%		
DEMANDA DE USO FINAL		Constante		
ESCENARIOS	Hipótesis específicas	Recurso energético	Tasa de crecimiento anual del recurso	Capacidad instalada al 2025
Gas natural	Altas eficiencias Bajos costos de capital	Gas natural	10%	62%
Fuentes renovables	Crecimiento del gas natural después de 1996	Gas natural	5%	20%
	Crecimiento de las FRE después de 2010 Costos de capital decrecientes Aprendizaje industrial acelerado	Fuentes renovables de energía	5.6%	54%

Planteamiento de Escenarios

En esta presentación se manejan tres escenarios, los cuales se exponen a continuación:

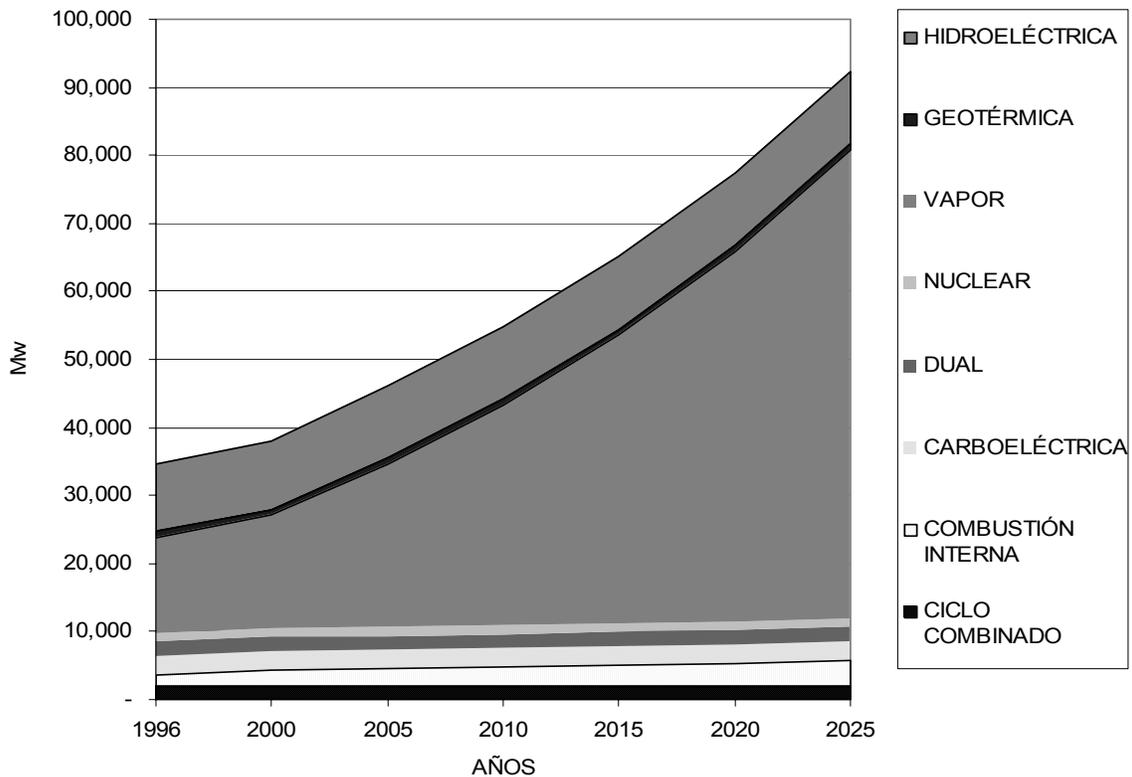
1. El escenario de combustóleo

Este escenario se maneja como base, con el objetivo de proveer una referencia de comparación y también para establecer un límite superior para la

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

evaluación ambiental del sector eléctrico mexicano. El combustible más usado es el combustóleo mexicano y por hipótesis se considera que toda la nueva oferta eléctrica se realiza quemando este energético en termoeléctricas convencionales. La expansión del sector eléctrico en este escenario se realizaría como se muestra en la figura 1. De esta manera el consumo de combustóleo se incrementa anualmente en 5.8%. La capacidad de las centrales termoeléctricas convencionales aumenta de 14,000 MW en el año de 1996 a 67,000 MW en el año 2025; representando en este último año el 70% de la capacidad total instalada. Este escenario es económicamente factible en particular si los precios del combustóleo son bajos respecto a los precios de gas natural. El establecimiento de este escenario haría por supuesto difícil que las FRE pudieran introducirse en la miscelánea energética en el mediano y largo plazos.

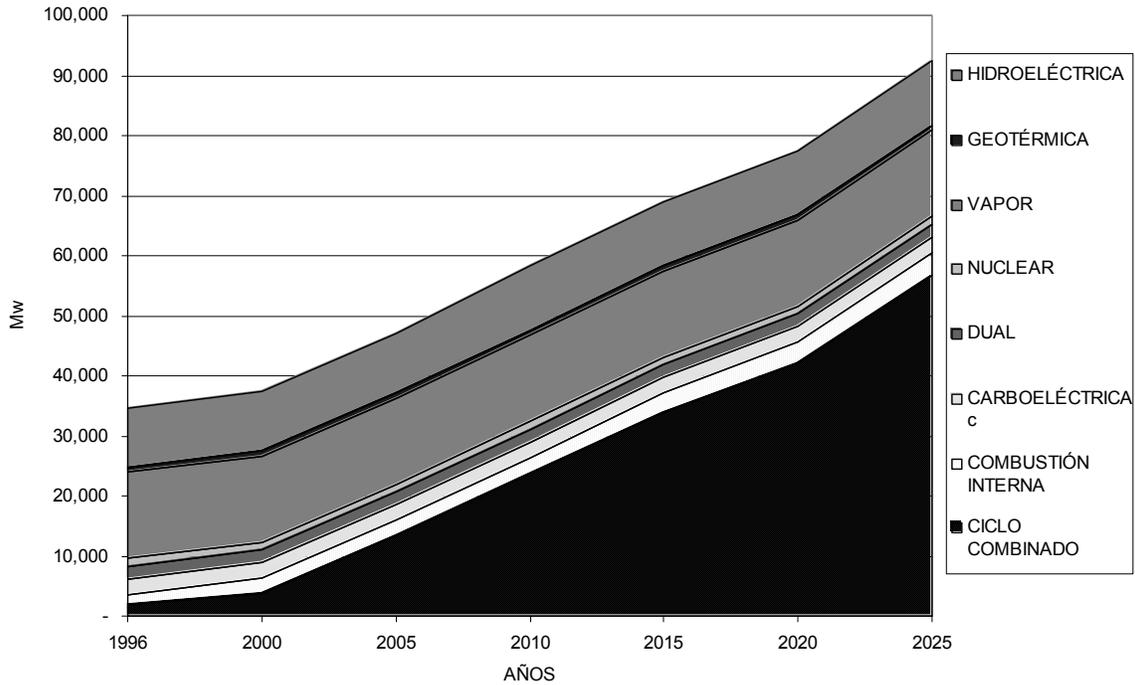
Figura 1. Perfil de la capacidad eléctrica instalada en el escenario de combustóleo



2. *Escenario alternativo de gas natural.*

El escenario de gas natural fue escogido porque representa la continuación de la política energética que ha dominado en los últimos años en México en la cual el gas natural es el energético preferido. La información para esbozar en el mediano plazo este escenario fue tomada de la prospectiva oficial del sector eléctrico mexicano 1998-2007 y posteriormente se extrapolaron las tendencias de esta prospectiva al año 2025. Este escenario refleja, por construcción, la prolongación de la nueva trayectoria tecnológica que se ha desarrollado desde la reforma energética de 1992. Toda la nueva capacidad instalada es satisfecha en consecuencia usando centrales de ciclo combinado y de turbinas de gas. De establecerse este escenario la expansión de la oferta del sector eléctrico mexicano se realizaría como se observa en la figura 2. Se tendría una tasa anual de crecimiento del consumo de gas natural de 10% lo cual haría que su consumo en el sector eléctrico represente el 55% del total en el año 2025. De esta manera su capacidad instalada crece de casi 2,000 MW en 1996 a 57,000 en el 2025. Para que este escenario sea factible los precios de gas natural tendrían que mantenerse en niveles medios o bajos.

Figura 2. Perfil de la capacidad eléctrica instalada en el escenario de gas natural.



3. Escenario alternativo de las fuentes renovables de energía (FRE)

En este escenario se considera un periodo de transición que termina a finales de la presente década en el que el gas natural se mantiene como el combustible privilegiado, posteriormente emerge una trayectoria tecnológica basada en las fuentes renovables que domina en el resto del periodo que concluye en el año 2025. La tabla 2 muestra las hipótesis específicas a las distintas fuentes de las energías renovables que se consideran en este trabajo (hidráulica, geotermia, viento, solar, biomasa, desechos sólidos municipales e hidrógeno renovable).

Tabla 2. Hipótesis específicas de las FRE

Fuente	Escenario de FRE TCA
Hidroelectricidad	5%
Geotermia	5%
Sistemas solares	26%
Desechos sólidos municipales	42%
Biomasa	42%
Sistemas eólicos	40%
Hidrógeno renovable	42%

En este escenario se sostiene que es técnica y económicamente factible un uso masivo de fuentes renovables de energía a partir del inicio de la segunda década de este siglo, por lo que las fuentes renovables crecen de manera agregada a una tasa anual de 5.6% y llegan a representar el 54% de la capacidad instalada en el año 2025. Para que este escenario sea factible se considera un aprendizaje industrial acelerado de las tecnologías de las FRE, la eliminación de las principales barreras para su difusión, un progreso tecnológico acelerado que se traduce en mejores eficiencias, menores costos de capital y mayor confiabilidad técnica. Finalmente, se considera que predominan precios moderados o altos de gas natural.

La tabla 3 muestra las hipótesis de crecimiento anual de cada una de las tecnologías con las cuales se expanden las fuentes renovables de energía, mientras que la figura 3 presenta la expansión de la oferta con fuentes renovables en el supuesto que este escenario se estableciera en el sector eléctrico mexicano. Finalmente, la tabla 3 expone las evoluciones entre 1996-2025 de los costos de las tecnologías de fuentes renovables que soportan este escenario de acuerdo a las fuentes de información señaladas.

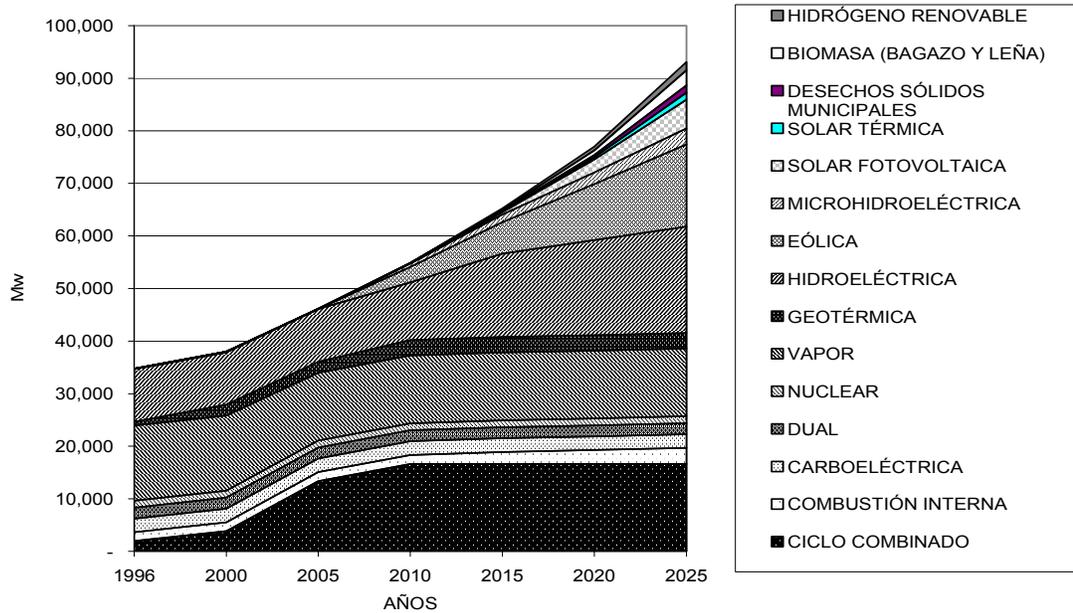
Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

**Tabla 3. Hipótesis de crecimiento anual de las tecnologías de las FRE
(Dólares de 1997 por kilowatt)**

PLANTAS	1996	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Escenario de gas natural							
Ciclo Combinado	813 ¹	428 ²					
Turbinaa de gas	455 ¹	453 ²					
Escenario de fuentes renovables							
Hidroeléctrica	1912 ¹	1750 ²					
Geotermia	2030 ¹	1372 ³	1250 ³	1194 ³	1147 ⁹	1100 ³	1100 ³
Eólica	1232 ⁷	750 ³	720 ³	675 ³	665 ³	655 ³	655 ³
Micro-hidroeléctrica	3001 ⁵						
Biomasa:							
A base de bagazo	2102 ³	1892 ³	1650 ³	1464 ³	1361 ⁹	1258 ³	1258 ³
A base de leña	1965 ³	1745 ³	1510 ³	1346 ³	1380 ⁹	1115 ³	1115 ³
A base de desechos sólidos municipales	5892 ⁶						
Solar fotovoltaica	9300 ³	5300 ³	2900 ³	1500 ³	1305 ⁹	1110 ³	1110 ³
Solar térmica	4051 ⁶	4051 ⁶	3234 ⁶	2418 ⁶	2380 ⁶	2342 ⁶	2342 ⁶
Hidrógeno renovable	3000 ⁸	1607 ⁶	1568 ⁶				

1(CFE, 1996), 2(CFE, 2000), 3(U.S. DOE & EPRI, 1997), 4(EPRI, 1993), 5(Bernstein, 1999), 6(NEA/IEA, 1998), 7(Fuerza Eólica, 2001), 8(IEA, 1997), 9(Cálculos propios).

Figura 3. Perfil de la capacidad eléctrica instalada en el escenario de fuentes renovables de energía.



Se definió a 1996 como el año base a partir del cual se inicia la simulación de los escenarios, para lo cual fue necesario elaborar una base de datos técnicos de operación (capacidad, eficiencias, disponibilidad, tipo de combustible, fecha de entrada en operación) de las 161 plantas eléctricas que integran el parque de generación en México.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Composta

La composta es una materia oscura rica en nutrientes que se producen cuando la materia orgánica se degrada. Esta materia puede ser usada para mejorar la fertilidad del suelo y favorecer el crecimiento de las plantas.

Densidad energética

Para comprender mejor el concepto de *densidad energética*, la comparación entre el petróleo, el carbón y la leña muestra que el petróleo tiene una densidad energética mayor, al presentar una equivalencia de 42.983 MJ por kilogramo, mientras que para el mismo peso el carbón tiene 25.284 MJ y la leña 14.486 MJ. Esto quiere decir que, para producir la misma cantidad de energía se requiere una menor cantidad de petróleo a comparación con la leña y el carbón.

Energía

Propiedad de un sistema que por lo general lo capacita para realizar trabajo.

Energía cinética

La energía cinética es aquella que poseen los cuerpos en movimiento ($E_m = 1/2 (mv^2)$).

Energía eléctrica

Esta forma de manifestación de la energía puede ser definida como el flujo de electrones provocado por una diferencia de potencial eléctrico.

Energía potencial

La fuente natural de este tipo de energía es la fuerza de gravedad que hace que cualquier objeto colocado por encima de cierto nivel de referencia, tenga energía potencial con respecto a dicho nivel ($E_p = mgh$).

Energía primaria

Es aquel recurso energético en estado natural que, a través de su extracción, refinación y transportación puede convertirse en una energía o combustible económicamente utilizable. Raramente un energético primario puede ser utilizado sin ninguna clase de tratamiento previo (Slesser, 1985).

Son energías primarias el carbón, la hidroelectricidad, la energía nuclear, el petróleo crudo, el gas natural, la geotermia y el bagazo de caña, entre otros.

Energía química

Cuando dos o más elementos se combinan en un compuesto se dice que hay una reacción química. Este tipo de reacción ocurre también cuando el compuesto se descompone dejando en libertad sus elementos. Toda la energía que se absorbe o libera en estas reacciones se llama energía química.

Energías renovables

Los energéticos *renovables* son aquellos que pueden continuar existiendo mediante procesos de regeneración, siempre que éstos se realicen a una tasa mayor que la de consumo. Esto les permite continuar existiendo a pesar de ser “usados” por la humanidad. La leña puede ser no renovable si las formas de explotación reducen gravemente su disponibilidad o incluso la agotan, aunque, desde luego, este agotamiento es evitable.

Equivalencia entre unidades energéticas

Unidades	Joule (J)	Kilowatt-hora (kWh)	British Thermal Unit (BTU)	Kilocaloría (kcal)
1 Joule	1	2.778×10^{-7}	9.48×10^{-4}	2.388×10^{-4}
1 Kwh	3 600 000	1	3412.15	860
1 BTU	1055.06	2.931×10^{-4}	1	0.25
1 Kcal	4186.8	1.163×10^{-3}	3.97	1

Generador eléctrico

Cuando en el seno de un campo magnético producido por un imán se mueve un conductor, por ejemplo, una serie de espirales de cobre (bobina), en las terminales de la bobina aparece un voltaje. Si se conecta un foco a dichas terminales su filamento se volverá incandescente debido al paso de una corriente eléctrica. El generador eléctrico se basa en el principio anterior. Los grandes generadores de las centrales eléctricas constan de dos elementos principales, el rotor en el que se produce el campo magnético que gira con el propio rotor y el estator colocado alrededor del rotor y que aloja las bobinas estáticas en donde se induce el voltaje.

Eter metil terbutílico (MTBE)

El MTBE es un compuesto líquido volátil, inflamable, incoloro, de baja viscosidad, con olor característico, soluble en agua, que se usa casi exclusivamente como aditivo oxigenado en gasolinas.

Los aditivos oxigenados favorecen la combustión de las gasolinas, reduciendo así las emisiones nocivas de los escapes vehiculares, como monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles; a su vez, diluyen o desplazan componentes de las gasolinas, tales como aromáticos (benceno en particular) y sulfuros.

Factor de planta

El Factor de Planta se define como el número de horas que opera un generador al año dividido entre el número de horas en un año.

Plantación energética

Una plantación energética consiste en la combinación sinérgica de cultivos alimenticios y energéticos. Se trata de que cultivos, como el maíz y los árboles leguminosos leñables se beneficien mutuamente a nivel de nutrientes subterráneos., ya que las leguminosas fijan nitrógeno y la planta de maíz consecuentemente, se nutre al compartir un mismo espacio.

Prefijos métricos:

Prefijos métricos	Múltiplos
Exa	10^{18}
Peta	10^{15}
Tera	10^{12}
Giga	10^9
Mega	10^6
Kilo	10^3

Trabajo

El trabajo es una forma de cambiar energía de una forma a otra.

Turbina

Máquina rotativa accionada por agua, vapor o gases calientes; lleva unas paletas llamadas álabes, montadas alrededor de un eje. La fuerza del agua, vapor o gases calientes, al chocar contra ellas, hace girar el eje proporcionándole trabajo mecánico. Las turbinas se usan actualmente en las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, en los motores de los grandes barcos y en algunos aviones de reacción.

BIBLIOGRAFÍA POR ORDEN ALFABÉTICO

- Almanza, R., Estrada, V., y Barrientos, J. (1992). *Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana*. Series del Instituto de Ingeniería No. 543, UNAM.
- ANES (2000). *Presentación Foro Solar, ISES, Milenio 2000*. Asociación Nacional de Energía Solar. México.
- Bahm, R. (1999). *Mapa de insolación media anual de la república Mexicana*. Comunicación personal.
- Caldera, E. (2000). *Energía eólica*. En Manzini et al. *Energías Renovables y Ambiente*. ISES Millennium Solar Forum 2000. México DF.
- CDM Watch (2003). *About CDM*. URL:<http://www.cdmwatch.org/about-cdm.php>, 27 de diciembre de 2003.
- CFE (2003). *Generación Eoloeléctrica*. Comisión Federal de Electricidad. México. URL:[http:// www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)
- CONAE (1995). *Estudio de la Situación de la Minihidráulica Nacional y Potencial en una Región de los Estados de Veracruz y Puebla*. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Secretaría de Energía, México.
- CRE (2004). *Tabla general de permisos autorizados de generación, importación y exportación de energía eléctrica 1994- al 15 de marzo de 2004*. Comisión reguladora de Energía. México.
- Departamento de Energía, Ministerio de Comercio e Industria del gobierno de Finlandia (2003). *Report in compliance with res-e-directive on the national objectives concerning electricity produced from renewable energy sources and the implemented as well as the planned measures in Finland which will achieve these objectives*. Finlandia.
- Departamento de Energía, Ministerio de Comercio e Industria de Finlandia (2004). *Plan para las energías renovables*. Finlandia. URL: http://www.ktm.fi/index.phtml?menu_id=180&lang=3, Julio de 2004.
- Díaz, R. y Masera, O (2002). *Uso de la leña en México: situación actual, retos y oportunidades*. Balance Nacional de Energía 2002. SENER, México D.F. 2003

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- DOE (2004). *Energy efficiency and renewable energy network*. US DOE. URL: <http://www.eren.doe.gov>
- Energicenter (2004). *Energy in Denmark*. Dinamarca. URL: <http://www.opet.dk/endkuk.htm>. Julio 2004.
- Enestam, Jan-Erik (2004). Minister of the Environment at PulPaper 2004 Conference, 1-3 June 2004 in Helsinki. Ministerio del Ambiente, Gobierno de Finlandia. URL: <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=83636&lan=ENv>, Junio de 2004.
- Energy Information Administration (EIA, 2004). *International Energy Outlook 2004*. USA. URL: <http://www.eia.doe.gov>, 5 de Julio de 2004.
- Energy Research Centre of the Netherlands (2004). *Electricidad Renovable en Europa*. Finlandia. URL: <http://www.renewable-energy-policy.info/relec/finland/index.html>, Junio de 2004.
- Gaceta Parlamentaria (2000). Primer Periodo Ordinario del Primer Año de la LVIII Legislatura. H. Cámara de Diputados. México.
- Gaceta Parlamentaria (2002). Segundo Periodo Ordinario del Segundo Año de la LVIII Legislatura. H. Cámara de Diputados. México.
- Gaceta Parlamentaria (2004). Segundo Periodo Permanente de la LIX Legislatura. Comisión Permanente. México.
- Goldemberg, J. S, Coelho. Lucon, O (2004). *How adequate policies can push renewables*. Energy Policy 32. Elsevier. 2004.
- Grasi, H. *et al* (2004). *World in Transition*. Towards Sustainable Energy Systems. Earthscan, London
- Hans- Josef Fell (2002). (Diputado. Miembro de la Comisión de Investigación Técnica y Energía, Parlamento Alemán). *Concepciones de una Política Energética Sustentable: La experiencia en Alemania y la Unión Europea*". Chile. Octubre de 2002.
- Hayes. (2004). *Asia Renewables*. Refocus: The international renewable energy magazine. Elsevier. Mayo- junio, 2004.
- IEA-a (2002). *Electricity information 2002, IEA Statistics*.

- IEA-b (2002). *Renewables in Global Energy Supply*. International Energy Agency, Paris.
- Instituto Investigaciones Eléctricas, IIE (1999). *Energía Eólica, Centrales Eoloeléctricas*. Cuernavaca, Morelos, México.
- Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien (2004). Alemania URL: <http://www.renewables2004.de>, 31 de agosto de 2004.
- International Solar Energy Society (ISES, 2002). *Transitioning to a Renewable Energy Future*. Germany.
- Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 1999). *Plan de Fomento de las energías renovables*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. España.
- ISES (2004). *International Solar Energy*.
- Islas, J., Manzini, F., Martínez, M (2004). *CO₂ mitigation costs for new renewable energy capacity in the Mexican electricity sector*. Solar Energy, Elsevier Science, 76(2004), 499-507.
- Jürgen Trittin (2000). *Paso decisivo para las energías renovables – Promulgación de la Ley de Primacía*. Ministro Federal de Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente de la Federación Alemana. Alemania.
- Kannappan (2003). *Nueva energía para el desarrollo*. Revista Nuestro Planeta: La energía. Tomo 14. N. 3. 2003. PNUMA, Editorial Klaus Toepfer, Cline Corrado.
- Manzini *et al* (2000). *Energías Renovables y Ambiente*. ISES Millennium Solar Forum 2000. México DF.
- Maycock, Paul (2004). *PV news*. March and April 2004. National Center for Photovoltaics. URL: <http://www.pvenergy.com>
- Meyer, N. A, Koefoed (2003). *Danish energy reform: policy implications for renewables*. Energy Policy 31. Elsevier. 2003.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MINECO, 2004). *El Plan de Fomento de las energías renovables en España (2000-2010)*. España. URL: http://www.mineco.es/energia/desarrollo/E_Renovables1.htm, Julio de 2004.

Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México

- Ministerio de Minas y Energía del gobierno de Brasil (2004). Brasil. 2004 URL: www.mem.gov.br. Agosto de 2004.
- Mogg, R (2004). *Biofuels in Asia*. Refocus: The international renewable energy magazine. Elsevier. Mayo- junio, 2004.
- Moreira J (2003). *Policies for promotion of new and renewable sources of energy*. LAMNET. México. 26-28 Junio de 2003.
- Ministerio del Medio Ambiente de la Federación Alemana (2004). *Refundición de la Ley sobre las Energías Renovables. Resumen de la ley aprobada por el Parlamento Alemán*. Alemania.
- Nakicenovic, Nebojsa, Arnulf Grübler y Alan Mc Donald -editores-(1998). *Global Energy Perspectives*. IIASA-WEC-Cambridge University Press. UK.
- NREL, 2003. Wind Energy Resource. Atlas of Oaxaca Prepared under Task No. WF7C0310. National Renewable Energy Laboratory /TP-500-34519, August, USA.
- Novem, K.W. Kwant, S. Wink (2000). *Renewable Energy in the Netherlands*. EnR Renewable Energy Working Group- Renewable Energy in the European Union and Norway. Abril 2000.
- PUE (1998). *Compendio de información del sector energético Mexicano 1997*. Programa Universitario de Energía – UNAM. México.
- Satu, Helynen (2004). *Bioenergy policy in Finland*. Energy for Sustainable Development. Volumen VII. N. 1.
- Schroeder Gerhard (2003). *La Clave del Desarrollo*. Revista Nuestro Planeta: La energía. Tomo 14. N. 3. 2003. PNUMA, Editorial Klaus Toepfer, Cline Corrado.
- Secretaría de Energía (SENER, 1997). *Balance Nacional de Energía 1996*. Secretaría de Energía. México.
- Secretaría de Energía (SENER, 2001). *Prospectiva del sector eléctrico 2001-2010*. 1a. Ed. 2001. México.
- Secretaría de Energía (SENER, junio de 2001). *Energía renovable en México y la Política Energética*. México.
- Secretaría de Energía (SENER, 2002). *Programa Sectorial de Energía 2000-2006*. México.

- Secretaría de Energía (SENER, 2003). *Balance de energía 2002*. México.
- Sims, Ralph E. H. (2004). *Bioenergy Options for a Cleaner Environment in Developed and Developing Countries*. Centre for Energy Research, Massey University, Palmerston North, New Zealand, Elsevier Ltd 2004, p 1-28.v.
- Slessor, Malcom –editor- (1985). *Macmillan Dictionary of Energy*. Macmillan Press. London.
- The Economist (2003). *The End of the Oil Age*. USA. 25 de noviembre de 2003.
- Unión Europea (2001). *Energías renovables: Libro Blanco por el que se establece una estrategia y un plan de acción comunitarios*. Síntesis de la Legislación. URL: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l27023.htm>, Junio de 2004.
- Verma, S (2000). *Energía Geotérmica: calor del Interior de la Tierra*. En Manzini et al. *Energías Renovables y Ambiente*. ISES Millennium Solar Forum 2000. México DF.
- Valdés, H (2000). *Energía microhidráulica*. En Manzini et al. *Energías Renovables y Ambiente*. ISES Millennium Solar Forum 2000. México, DF.
- WCD (2000). *Dams and development. A new framework on decision-making*. World Commission on Dams. Earthscan Publications, London.
- Worldwatch Institute (2003). *Germany Leads the World in Alternative Energy*. Alemania.