



ENERGÍA



0 CLAUDIO A. ESTRADA GASCA
JORGE M. ISLAS SAMPERIO
COORDINADORES

CONTAR CON UN SISTEMA
DE ENERGÍA LIMPIO, SUSTENTABLE,
EFICIENTE Y DE BAJO COSTO ➔

MÉXICO 2013

AGENDA CIUDADANA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

ENERGÍA



Agradecimientos:

La *Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación* fue posible gracias al generoso trabajo de miles de personas, a quienes dedicamos la presente serie de libros.

La coordinación general de la *Agenda Ciudadana* agradece a todas las instituciones involucradas en el proyecto; en especial, a las comisiones de Ciencia y Tecnología y de Educación de la LXI y LXII Legislatura de la Cámara de Senadores, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento otorgado, y a la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM por el trabajo editorial realizado.

Asimismo, los editores de esta serie de libros agradecemos el apoyo que otorgaron los siguientes especialistas al revisar y dar su opinión sobre los contenidos: Luis Aboites Aguilar, Francisco Alba Hernández, Pablo Álvarez Watkins, Rodolfo Corona Vázquez, Arturo Curiel Ballesteros, Manuel Gil Antón, María de Ibarrola Nicolín, Francisco A. Larqué Saavedra, Polioptro Martínez Austria, Blanca Emma Mendoza Ortega, Pablo Mulás del Pozo, Guillermina Natera Rey, Julio Everardo Sotelo Morales.

Los coordinadores de este libro agradecen la participación del Dr. Wilfrido Rivera Gómez Franco, jefe del Departamento de Sistemas Energéticos, IER-UNAM; del Dr. Xavier Mathew, jefe del Departamento de Materiales Solares, IER-UNAM; y del Dr. Fabio L. Manzini Poli, investigador titular de la Coordinación de Planeación Energética, IER-UNAM, por su contribución para definir los retos en el tema de energía.

Igualmente, agradecen a la Mtra. Judith Navarro, profesora de la asignatura Ahorro y Uso Eficiente de Energía, perteneciente al posgrado de Ingeniería en Energía de la UNAM, por el apoyo técnico en la elaboración del presente libro. Asimismo, a la Dra. Heidi Villafán y a los M. C. Alejandro Bautista y Ricardo Pérez, por la revisión realizada de este volumen.

Gracias también a la L. I. María de Jesús Pérez Orozco, técnica académica de la Coordinación de Planeación Energética, IER-UNAM, por el apoyo en la búsqueda de referencias bibliográficas, así como en la organización y el formato de este trabajo.

Coordinación general: José Franco

Coordinación editorial: Rosanela Álvarez

Asistente editorial: Paula Buzo Zarzosa

Corrección de textos: Héctor Siever

Diseño de la serie: Miguel Marín y Elizabeth García

Formación: Quinta del Agua Ediciones

Energía

Primera edición, 2013.

D. R. © Academia Mexicana de Ciencias, A. C.

Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca s/n,
Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C. P. 14400, México, D. F.

ISBN: 978-607-96209-5-0

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

ENERGÍA

COORDINADORES

CLAUDIO A. ESTRADA GASCA
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES, UNAM

JORGE M. ISLAS SAMPERIO
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES, UNAM



CONTENIDO

7

PRESENTACIÓN

11

RESUMEN EJECUTIVO

15

CAPÍTULO 1

DIAGNÓSTICO

25

CAPÍTULO 2

IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO QUE GUARDAN
LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA A NIVEL NACIONAL
E INTERNACIONAL

61

CAPÍTULO 3

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.
IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS
Y SOLUCIONES. RUTAS DE ACCIÓN

69

CAPÍTULO 4

PROPUESTAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS
ASOCIADAS A LA CONSTRUCCIÓN DE
LAS SOLUCIONES IDENTIFICADAS

73

CAPÍTULO 5

ESTIMADO PRESUPUESTAL

75

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS

79

BIBLIOGRAFÍA

PRESENTACIÓN

La construcción de una sociedad democrática y con desarrollo sustentable requiere que ciencia, tecnología e innovación formen parte medular de la agenda nacional y que la ciudadanía conozca los avances en la generación y aplicación del conocimiento. Para lograrlo, es necesario ubicar estos conocimientos como parte de la cultura y como un instrumento imprescindible en la toma de decisiones y en la construcción de políticas públicas, especialmente aquellas encaminadas a combatir los grandes problemas nacionales, incluyendo a la desigualdad social y la pobreza.

La *Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación* ha sido un ejercicio de participación ciudadana y comunicación de la ciencia que, además de elevar la cultura científica, busca conocer la opinión de la población sobre los principales retos que enfrenta el país y ante los cuales ciencia, tecnología e innovación pueden y deben actuar. Es la primera consulta de este tipo que se realiza en México.

Esta iniciativa explora nuevas formas de diálogo entre científicos, ciudadanía y tomadores de decisiones y representa un avance significativo en el camino que México emprende hacia una sociedad basada en el conocimiento.

La *Agenda Ciudadana* constituye una búsqueda hacia la reflexión conjunta con la sociedad y la posibilidad de que ésta se vincule y establezca una nueva relación con la política nacional y las instituciones. La participación de más de 200 instituciones públicas y de la sociedad civil, así como de más de 70 medios de comunicación, permitió que este proyecto acercara el trabajo de los investigadores a la sociedad.

La selección de los temas de la consulta se hizo considerando el amplio abanico de problemas y necesidades de nuestro país y tomando en consideración las capacidades ya existentes, tanto humanas como de infraestructura. La lista inicial de temas era muy extensa. Sin embargo, se seleccionaron diez retos que incluyen problemas que están en la agenda global. Éstos son:

- **Agua.** Asegurar el abasto de agua potable para toda la población.
- **Cambio climático.** Desarrollar la capacidad de prevención y adaptación a los efectos del cambio climático.

- **Educación.** Modernizar el sistema educativo con enfoque humanístico, científico y tecnológico.
- **Energía.** Contar con un sistema de energía limpio, sustentable, eficiente y de bajo costo.
- **Investigación espacial.** Desarrollar una industria aeroespacial mexicana competitiva y con resultados de interés para la sociedad.
- **Medio ambiente.** Recuperar y conservar el medio ambiente para mejorar nuestra calidad de vida.
- **Migración.** Construir una sociedad informada sobre la diversidad migratoria y sensibilizada con los derechos de los migrantes.
- **Salud mental y adicciones.** Integrar la atención de la salud mental y adicciones a la salud pública.
- **Salud pública.** Conformar un sistema integral de salud de alta calidad para toda la población.
- **Seguridad alimentaria.** Lograr un campo más productivo y alcanzar la seguridad alimentaria.

Seis de los temas elegidos para la *Agenda Ciudadana* son relevantes a nivel global y coinciden con los tópicos recientemente definidos como prioritarios por la Red Mundial de Academias de Ciencias (IAP) en su asamblea general, realizada en marzo de 2013 en Río de Janeiro, Brasil. Estos temas son: agua, cambio climático, medio ambiente, ciencias de la educación, energía, salud y seguridad alimentaria. Lo anterior significa que, más allá de su importancia nacional, los retos seleccionados forman parte de las preocupaciones a nivel mundial.


En la primera consulta realizada en nuestro país participaron más de 150 000 personas, en el periodo del 7 de noviembre de 2012 al 30 de enero de 2013. Este ejercicio se realizó a nivel nacional, lo que permitió obtener un sondeo en las 32 entidades de la República Mexicana.

Como parte de las reflexiones generadas durante este ejercicio, se creó una serie de diez libros que examinan y proponen posibles soluciones a los problemas planteados. La elaboración de los títulos estuvo a cargo de equipos conformados por expertos en cada uno de los temas y fueron revisados por especialistas externos a los equipos de autores, quienes aportaron su valiosa opinión sobre los contenidos de los libros.

Cada volumen presenta un resumen ejecutivo donde se identifican los principales aspectos de cada uno de los retos considerados en la *Agenda Ciudadana*. Los autores realizaron un análisis y diagnóstico de la situación actual de los problemas abordados.

Finalmente, se discuten alternativas de solución y propuestas para la construcción de políticas públicas, considerando un estimado presupuestal, con la intención de ofrecer una guía que resulte útil a los tomadores de decisiones encargados de dar solución a los retos de la agenda nacional.

México vive una etapa de transición en la que el fortalecimiento de las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación debe jugar un papel decisivo para impulsar la competitividad en todos los sectores, el desarrollo económico y el bienestar de la población. En este tránsito es importante crear canales de diálogo y concertación entre los distintos actores sociales.

La participación ciudadana debe ocupar un lugar destacado en la identificación de las problemáticas que necesitan ser atendidas. La *Agenda Ciudadana* constituye una posibilidad para la apropiación del conocimiento científico por parte de la sociedad, así como el punto de partida para la elaboración de nuevas políticas públicas sobre ciencia, tecnología e innovación en nuestro país. 

Francisco Bolívar Zapata
*Coordinador de Ciencia, Tecnología e Innovación
de la Oficina de la Presidencia*

Enrique Cabrero
*Director del Consejo Nacional de Ciencia
y Tecnología (Conacyt)*

Roberto Escalante
*Secretario General de la Unión de Universidades
de América Latina y el Caribe (UDUAL)*

Rubén Félix Hays
*Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología
de la LXII Legislatura de la Cámara de Diputados*

José Franco
Presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC)

Alejandro Tello
*Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología
de la LXII Legislatura de la Cámara de Senadores*

RESUMEN EJECUTIVO*

En este documento se realiza un breve diagnóstico del problema actual de la energía en el mundo y en México. Se presentan las fuentes primarias de energía con las que cuentan los seres humanos, así como las tendencias mundiales en el consumo de energía primaria. A su vez, se identifica el estado que guardan la ciencia y la tecnología a nivel nacional e internacional en el ámbito de la energía; en particular, de las energías alternas, de las energías renovables.

En este trabajo se presentan propuestas de investigación y desarrollo tecnológico como soluciones a la problemática energética discutida en cada una de las tecnologías energéticas abordadas. También se describen las propuestas de políticas públicas en materia de investigación y desarrollo tecnológico asociadas a la construcción de soluciones identificadas y a la implementación masiva de las energías alternas, particularmente de las energías renovables en México.

El problema energético del mundo actual consiste, por un lado, en que el crecimiento de la población mundial y el aumento de sus niveles de vida están reforzando la demanda de energía; por el otro lado, las fuentes principales de energía que usamos los humanos (los recursos fósiles) para satisfacer dicha demanda, con su uso intensivo, tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente de dimensiones globales y catastróficas. Además, el petróleo, principal energético de origen fósil que sustenta el actual sistema energético mundial y nacional, está mostrando su finitud; esto es, el sistema energético actual no es sustentable.

En las contribuciones de las fuentes primarias para satisfacer el crecimiento de la demanda mundial de energía, es notable observar que el crecimiento del consumo mundial de energía está cada vez más cubierto por combustibles no fósiles; esto se refiere a que las nuevas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, la energía nuclear y la hidroeléctrica convencional, en conjunto, representan 34% del crecimiento. Tal contribución agregada de fuentes no fósiles es, por primera vez, más grande que la contribución de cualquier combustible fósil por sí solo. Por ello, para los próximos 20 años se espera un escenario que se considera plausible: las energías

* El significado de las siglas, los acrónimos y los símbolos que aparecen a lo largo del texto, se podrá encontrar en la página 75 de este libro. [N. del E.]

renovables, por su cuenta, contribuyen más al crecimiento mundial de la energía que el petróleo. De este modo, la mayor contribución de combustible fósil proviene del gas, que alcanza 31% del crecimiento previsto de la energía global.

El ahorro y el uso eficiente de la energía (AUÉE), sumados al aprovechamiento de las energías renovables (ER), se vislumbran como la solución a los problemas ambientales y de finitud de los combustibles fósiles. México requiere de un cambio de paradigma energético, para lo cual las alternativas anteriores pueden ser parte fundamental de la transición hacia un uso responsable y sustentable de la energía.

Con base en lo anterior, este documento analiza 13 temas: energía solar fotovoltaica, energía solar térmica (de baja, media y alta temperatura), bioenergía, energía eólica, energía geotérmica, energía hidráulica, energía oceánica, energía en edificaciones, eficiencia energética en el uso de los hidrocarburos, energía del hidrógeno, energía nuclear de fisión, de fusión, y la captura y secuestro de carbono. En cada tema tratado se describe la ciencia y la tecnología desarrolladas en cada área, con información sobre su situación internacional y nacional.

Cabe recalcar que en 2010, la generación eléctrica con energías alternas (EA) significó poco más de 32% del total mundial, del cual las ER representaron 19.4% y la energía nuclear (EN), 12.8%. Es importante mencionar que los sistemas fotovoltaicos (FV), los eólicos, el biogás, los biocombustibles líquidos y la energía solar térmica registraron los crecimientos anuales más dinámicos de las EA, con porcentajes de 44, 25, 15, 11 y 10%, respectivamente (REN21, 2012). Asimismo, la eficiencia energética (EE) y el uso de

las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS, por sus siglas en inglés) se consideran de gran importancia, pues pueden prolongar el uso de los recursos fósiles existentes, aprovechándolos racionalmente; y aunado a esto, permiten desplegar un uso limpio de los recursos fósiles, en términos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

Como punto relevante debe mencionarse que la inversión mundial en ER tuvo un aumento de 17% de 2010 a 2011, lo cual significó una inversión de 257000 millones de dólares, sin incluir la estimada en colectores solares de agua (que se calcula para ese año en 10000 millones de dólares) (REN21, 2012).

El “estado del arte” en México de las tecnologías de ER pone de manifiesto la falta de una política pública de I+D+i (Investigación, Desarrollo e innovación), la escasez de grupos de investigación y de desarrollo tecnológico, además de la carencia de técnicos e ingenieros en estas áreas de la energía, las cuales jugarán un papel importante en México, dado los cuantiosos recursos renovables con los que cuenta el país.

Por ello, de entre las propuestas de políticas públicas asociadas a la I+D+i en la construcción de las soluciones identificadas, se destacan las siguientes:

- Impulsar la I+D+i de las EA, especialmente de las ER, con un presupuesto similar (en términos porcentuales del PIB) a los países líderes en esta materia, a saber: Estados Unidos, la Unión Europea y China.
- Promover y desarrollar una cultura consciente de las consecuencias ambientales del uso de la energía.

- Acelerar la formación de recursos humanos especializados, tanto en EE como en EA, especialmente en ER.

Se estima que la inversión anual en las acciones propuestas para la implementación de política pública en materia de I+D+i para la transición a una estructura energética sustentable sería del orden de 0.01% del PIB en el corto plazo (aproximadamente 1 000 millones de pesos del año 2010), de 0.02% del PIB en el mediano plazo (aproximadamente 2 000 millones de pesos del año 2010) y de 0.03% del PIB en el largo plazo (aproximadamente 3 000 millones de pesos del año 2010).

Por último, respecto a la implementación de las EA, especialmente de EE y ER, este documento destaca que, en términos de política pública, una propuesta esencial para impulsar el uso masivo de estas fuentes limpias y sustentables es la siguiente:

- Proponer que para el mediano plazo (2030), al menos 30% de la energía de uso final provenga de fuentes de energía alternas, especialmente de energías renovables.

Para alcanzar este objetivo, se propone que el Fondo de Transición Energética, que nació con un presupuesto de 3 000 millones de pesos anuales para los años 2009, 2010 y 2011 (0.03% del PIB), de acuerdo a la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), se mantenga en el corto plazo con ese mismo presupuesto en pesos del año 2009, y se incremente en el mediano plazo a 0.06% del PIB (aproximadamente 6 000 millones de pesos del año 2009) y en el largo plazo a 0.1% del PIB (aproximadamente 10 000 millones de pesos del año 2009). Lo anterior, para lograr los niveles relativos de promoción de las EA de los países líderes en la transición energética, como Alemania.

Para finalizar, este documento propone que para realizar esta transición energética en el país con mayor rapidez y eficacia, es necesario, entre otras acciones, promover a nivel legislativo la creación de la Comisión Nacional de las Energías Renovables, la cual atienda la evaluación y promoción de las ER; así como formar un Instituto Nacional de Energías Renovables, encargado de acelerar la investigación y el desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de las ER en México. ☉

DIAGNÓSTICO

La problemática energética en el mundo

El crecimiento de la población mundial en los últimos 100 años ha sido insólito: se estima que en el año 1900 había 1 650 millones de personas, alcanzando en 1960 los 3 000 millones, hasta llegar al doble en sólo 39 años, lo cual significa que, en 1999, llegó a los 6 000 millones. En 2013, la población fue de más de 7 000 millones, y se estima que para el año 2030 habrá 8 000 millones de seres humanos en el planeta. Este inaudito crecimiento poblacional está estrechamente relacionado con el aumento en la demanda de energía a escala mundial.

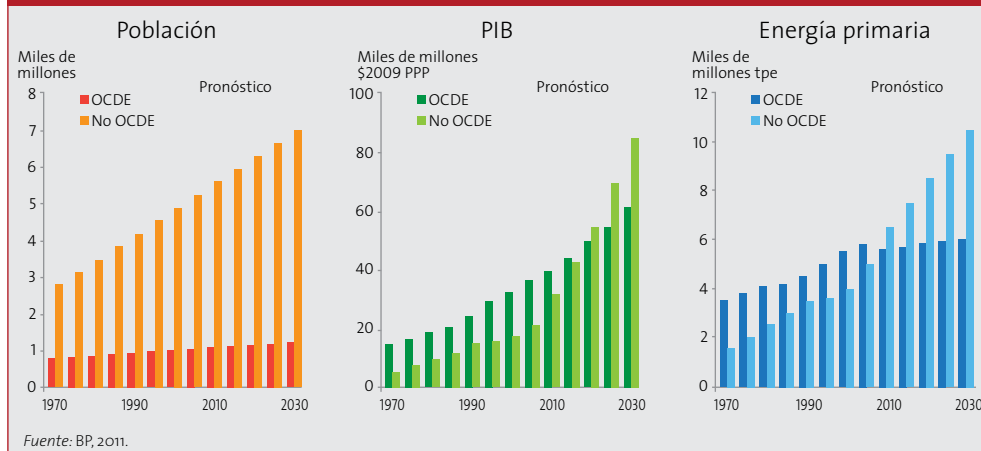
Con respecto a este punto, en un estudio reciente sobre la perspectiva energética (BP, 2011) se presenta con claridad la correlación entre el crecimiento poblacional, el crecimiento económico en términos del Producto Interno Bruto (PIB) y el consumo de energía primaria a nivel mundial. En la figura 1 se muestran las tres gráficas correspondientes: a la izquierda, los datos de la población mundial; en el centro, los valores del PIB del mundo para los países que pertenecen y no pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE); y a la derecha, las cifras del consumo de energía primaria que comprenden el periodo de 1970 a 2030.

Los primeros 40 años corresponden a los valores históricos, mientras que los siguientes 20 pertenecen al periodo que abarca de 2010 a 2030, el cual corresponde a una proyección basada en la evaluación de las tendencias mundiales más probables desde el punto de vista del presente.

De acuerdo con estos gráficos, en los últimos 20 años la población mundial se ha incrementado en 1 600 millones de personas, y se prevé que aumente 1 400 millones en los próximos 20 años. Por otra parte, el ingreso real en el mundo se ha incrementado 87% durante las últimas dos décadas, y es probable que aumente 100% en los siguientes 20 años. Asimismo, en ese periodo se espera que continúe la integración mundial, llevando este proceso al rápido crecimiento de las economías de ingresos bajos y medios.

Profundizando en este aspecto, los países emergentes (entre los que destacan China, India, Brasil y México) y los países menos desarrollados necesitan, para lograr su impulso económico, tener acceso pleno a las fuentes de energía modernas, entendidas éstas como electricidad y carburantes. De ahí que la demanda energética mundial esté

Figura 1. Población mundial, PIB y energía primaria



en continuo aumento, a un ritmo de crecimiento anual de 2.47%. De este modo, a medida que crecen la población y las economías, millones de personas en todo el mundo se suman a un estilo de vida que requiere cantidades de energía cada vez mayores. Al respecto, de acuerdo a la Administración de Información sobre Energía de EUA (EIA, por sus siglas en inglés) (US DOE/EIA, 2013), en su escenario de referencia, la demanda mundial de petróleo evolucionará de 555 petajoules (PJ) al día en 2011 a 759 PJ diarios en 2040; es decir, se incrementará 36% durante ese periodo. Esto significa un reto muy grande en términos de inversiones, particularmente dentro de un contexto de declinación de las reservas de lo que se ha llamado el “petróleo fácil” (término que refiere al petróleo fácil de extraer y transportar y, por ende, barato).

En la actualidad, las fuentes primarias de energía que dominan en el mundo son los hidrocarburos (HC) y corresponden a 81.2% de toda la energía primaria producida y consumida. En México, la dependencia es aún mayor: en el año 2011,

91.2% de la producción de energía primaria correspondió a combustibles fósiles (64.1% a petróleo, 24% a gas y 3.1% a carbón) (Sener, 2011a).

Este contexto de declinación de las reservas del “petróleo fácil” es evidente. Muchos de los campos de petróleo y gas del mundo están llegando a su madurez. La producción de crudo tocó techo en EUA en 1970, en Alaska en 1988, en el Mar del Norte en 1999 y en Cantarell en 2005, no obstante que los grandes descubrimientos recientes fueron precisamente en esos lugares (en Alaska y en el Mar del Norte en 1967, y en Cantarell en 1971).

Actualmente, los descubrimientos de nuevos yacimientos de fuentes energéticas se dan principalmente en lugares donde los recursos son difíciles de extraer, ya sea por motivos físicos, económicos o incluso políticos. Aunque no se sabe con certeza si ya tocó techo la producción mundial de este hidrocarburo, algunos expertos sugieren que ya se alcanzó, mientras que otros indican que se alcanzará en los próximos años. A partir de ese momento la producción disminuirá.

Cualquiera que sea la fecha, para los expertos petroleros del mundo es claro que este recurso está declinando rápidamente en relación a la escala temporal humana. Lo más probable es que mucho antes de que se alcance este límite, que eventualmente puede ser extendido por los avances tecnológicos, el juego de la oferta y la demanda petrolera, así como su impacto en la evolución de los precios del petróleo, constituirán los factores determinantes del fin de la era del petróleo. Adicionalmente, se sabe que la producción de gases de efecto invernadero, principalmente el dióxido de carbono provocado por el uso intensivo de los hidrocarburos, es de los precursores del incremento de la temperatura media global y, consecuentemente, del llamado cambio climático, con todas las repercusiones para los seres humanos que ello implica.

Así, puede establecerse que el problema energético del mundo actual consiste en que, por un lado, el crecimiento de la población mundial y el aumento de sus niveles de vida están reforzando la demanda de energía; por otra parte, las fuentes principales de energía (los hidrocarburos) que utilizamos los seres humanos para satisfacer dicha demanda están mostrando su finitud; y, finalmente, el uso intensivo de combustibles tiene un impacto en el medio ambiente de dimensiones globales y catastróficas. Esto demuestra que el sistema energético mundial no es sustentable.

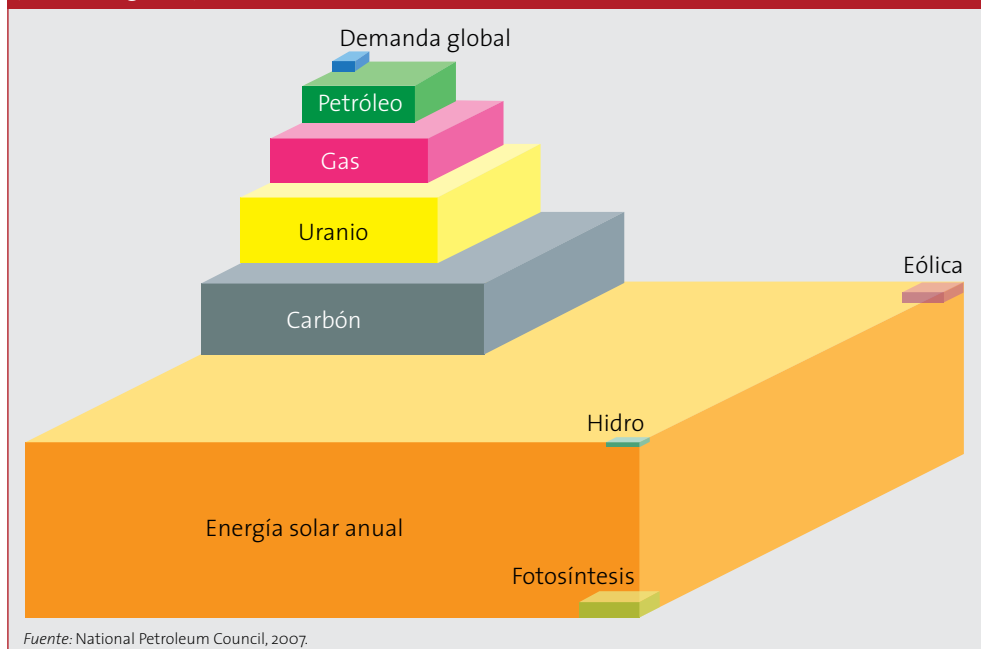
Es muy probable que los combustibles fósiles sigan desempeñando un papel clave en los próximos años, ya que ninguna otra fuente energética puede sustituirlos por completo, dada la estructura actual de la sociedad globalizada y sus problemas económicos, políticos y tecnológicos.

Sin embargo, ante esta situación energética mundial y nacional, se necesita un cambio de paradigma del modelo energético. Es urgente hacer un uso más racional de la energía, con menos impacto ambiental y que lleve poco a poco a la sustitución de los combustibles fósiles por otro tipo de energía primaria. Es urgente encontrar las fuentes energéticas suficientes que puedan sustituir a las fuentes fósiles, además de que permitan la conservación del medio ambiente para obtener un desarrollo sustentable. Este proceso de transición se debería lograr sin tensiones geopolíticas dramáticas por el control de los yacimientos de los hidrocarburos y sin la degradación irreversible del medio ambiente natural, particularmente debida a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Afortunadamente para la especie humana, existen en la Tierra fuentes de energía suficientemente abundantes para satisfacer, de forma sustentable, las necesidades energéticas de la humanidad. Efectivamente, se cuenta con la energía solar, que en sus diversas manifestaciones directas (radiación solar directa, difusa, etc.) o indirectas (biomasa, eólica, hidráulica, mareomotriz, etcétera) representa la fuente de energía más abundante en la Tierra, adicionada a la geotermia. En relación con este punto, la figura 2 muestra el recurso energético disponible en el mundo en 2007, así como el consumo global anual de energía de los humanos. De este modo, el consumo energético anual —la demanda global (DG) de energía primaria— es aproximadamente de 425 exajoules/año (EJ/año, $EJ = 10^{18}$ joules).

El total de la energía solar anual que alcanza la superficie de la Tierra y su atmósfera es aproximadamente de

Figura 2. Recurso energético disponible en el mundo y consumo global anual de energía (demanda global)



2895000 EJ/año, lo que representa ~7000 veces la demanda global (DG) en 2004, unas nueve veces el recurso total de todas las demás energías no renovables. Este valor se estima en 325 300 EJ (770 veces la DG) entre los siguientes recursos: petróleo, 8 690 EJ (~20 DG); gas, 17 280 EJ (~40 DG); uranio, 114 000 EJ (~270 DG); y carbón, 185 330 EJ (~440 DG). En la figura 2 se muestran estas cantidades en paralelepípedos rectangulares, donde por sus tamaños relativos se aprecia la abundancia de unos en comparación con otros. Todos estos valores son estimados y tienen un grado importante de incertidumbre. En particular, el recurso solar técnicamente factible para el uso de los seres humanos no es la energía solar total anual que alcanza la superficie de la Tierra, sino la energía que alcanza los lugares donde es posible desplegar la tecnología solar.

Se ha estimado que esta cantidad podría representar 10% del total; esto es, 289 500 EJ/año. Esta cifra sigue siendo muy grande (~600 veces la demanda global en 2004).

La energía solar en sus manifestaciones directa e indirecta junto con la energía geotérmica también se conocen como energías renovables; esto es, fuentes de energía que por su cantidad en relación a los consumos que los seres humanos pueden hacer de ellas son consideradas inagotables y su propio uso no afecta al medio ambiente. Al respecto, se cita lo siguiente:

Seguramente en el futuro se encontrarán más yacimientos de hidrocarburos y material nuclear, incluso están en pleno desarrollo las tecnologías como la captura y secuestro de carbono que permitirán

utilizar a los hidrocarburos con un menor impacto ambiental. Sin embargo, como se aprecia en la figura 2, las únicas fuentes que a largo plazo pueden satisfacer la demanda mundial de energía en forma sustentable, en el presente o en el futuro, son las fuentes renovables.

Varios analistas, como los del German Advisory Council on Global Change, sostienen que probablemente a finales de este siglo sean las energías renovables las que dominen en el *mix* energético. Se considera que este periodo transitorio llevará a un sistema energético sustentable, con ahorro y uso eficiente de energía, lo cual conducirá a la solución del problema energético planteado.

Estructura energética en el mundo y en México. Escenarios futuros

En el año 2010, la producción mundial de energía primaria llegó a los 535.1 terajoules (TJ), mientras el consumo mundial de energía en ese mismo año fue de 363 TJ.

Para profundizar en estas cifras, en la figura 3 se muestra la producción mundial de energía primaria para el año antes mencionado (Sener, 2011a). Desglosando este valor, el total del consumo de energía que corresponde a los hidrocarburos

es de 81.2%, lo que indica que éstos son el motor del mundo industrializado. En contraste, a las energías renovables les corresponde 13.2%. Las energías renovables tradicionales, tales como la leña y la hidráulica a gran escala, representan 12.1% y 0.6%, respectivamente. Lo restante corresponde a las nuevas energías renovables (geotermia, eólica, solar y oceánica).

Para completar este análisis, en la figura 4 se muestra la estructura de la producción de energía primaria en México para el año 2011, la cual correspondió a un total de 9190.76 PJ. Queda constancia de que la dependencia de los hidrocarburos en el país es de 91.2%, mayor al promedio mundial. La contribución de las nuevas energías renovables, excluyendo a la hidráulica a gran escala y a la biomasa convencional (leña), es pequeña: poco menos de 2%, que corresponde fundamentalmente a la geotermia y a la eólica (Sener, 2011a). Esto deja claro que, tanto a nivel mundial como a nivel nacional, el uso de las energías renovables sigue siendo marginal.

Cabe mencionar que, además del consumo interno de la energía que se produce en México, debe sumarse aquella que se importa o exporta. Con respecto a este asunto, en la tabla 1 se presenta el consumo final total de energía en el

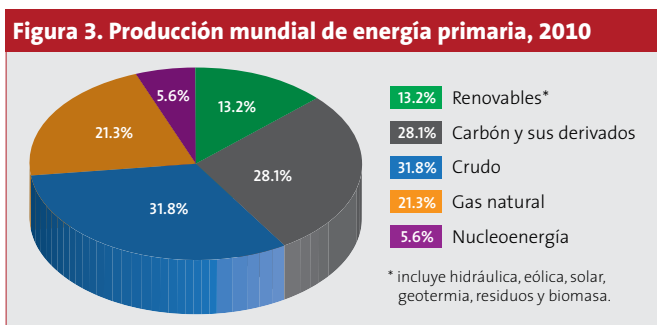


Figura 4. Estructura de la producción de energía primaria en México

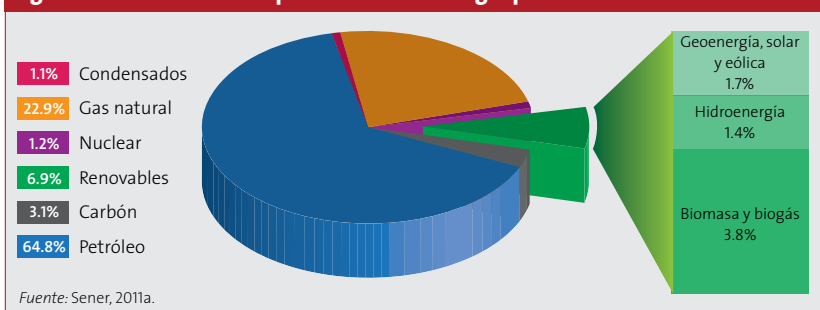


Tabla 1. Consumo final total de energía en México, 2011 (PJ)

	2010	2011	Variación porcentual (%) 2010/2011	Estructura porcentual (%) 2011
Consumo final total	4 874.13	4 994.82	2.48	100
Consumo no energético total	264.24	259.11	-1.94	5.19
Petroquímica de Pemex	168.90	161.60	-4.32	3.24
Otras ramas	95.34	97.51	2.28	1.95
Consumo energético total	4 609.89	4 735.71	2.73	94.81
Transporte	2 245.25	2 283.98	1.73	45.73
Industrial	1 298.08	1 363.42	5.03	27.30
Residencial, comercial y público	921.25	928.25	0.76	18.58
Agropecuario	145.32	160.06	10.14	3.20

Fuente: Sistema de Información Energética, Sener.

país en los años 2010 y 2011, así como su comparativo. Del consumo energético total, en 2011, aproximadamente 19% se fue al sector residencial, comercial y público; 46%, al sector transporte; 27%, al industrial; y sólo 3%, al sector agropecuario. Es evidente que el sector que más energéticos consume, fundamentalmente carburantes, es el del transporte. Debe señalarse que en 2011 hubo un incremento de 2.5% del consumo de energía total, comparado con el año anterior, y fue el consumo en el sector del transporte el que más aumentó.

Ante la situación anteriormente descrita, debe hacerse un ejercicio responsable de planificación energética del país, donde se decidirá qué tecnologías deberán impulsarse o implementarse, y para lo cual se deben tomar en consideración los siguientes puntos:

1. La seguridad en el suministro energético para todos los habitantes.
2. Las reservas energéticas con las que se cuenta.
3. Los precios y los costos de las tecnologías.

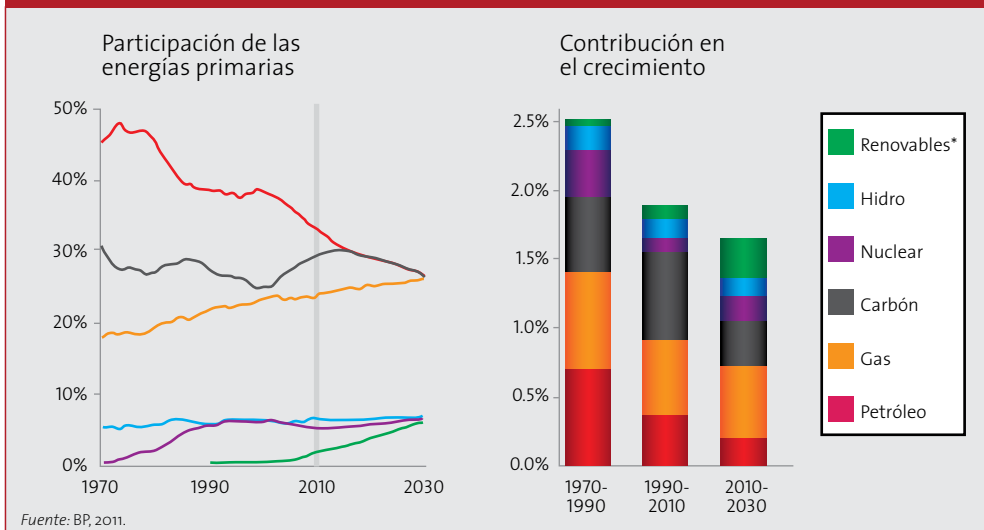
4. La minimización del impacto ambiental del uso de los sistemas energéticos.

Retomando estos últimos señalamientos, en la figura 5 se presenta un escenario posible para la transformación del sistema mundial de energía, el cual satisface algunas de las condiciones de planificación del párrafo anterior, y que fue elaborado a partir del cumplimiento de las nuevas políticas energéticas, las cuales consideran una economía baja en carbono para la protección del medio ambiente (BP, 2011). En este gráfico, se presenta la historia de las contribuciones porcentuales de cada fuente primaria de energía desde 1970 hasta 2030. Puede verse que la tendencia del petróleo, a largo plazo, sigue disminuyendo su cuota en el mercado internacional, mientras que la del gas continúa aumentando. El reciente aumento de la contribución del carbón a la cuota del mercado pronto comenzará a revertir-

se, con una tendencia a la baja evidente en 2020. La tasa a la que las energías renovables están creciendo y penetrando los mercados mundiales de la energía tiene una marcada similitud con la aparición de la energía nuclear en las décadas de 1970 y 1980.

Por otra parte, en el gráfico de la derecha de la misma figura, se exponen las contribuciones de las fuentes primarias para satisfacer el crecimiento de la demanda mundial de energía. Es notable observar que el crecimiento del consumo mundial energético está siendo cubierto cada vez más por combustibles no fósiles; en cuanto a las energías renovables, la energía nuclear y la hidroeléctrica en conjunto representan 34% del crecimiento. Esta contribución agregada no fósil es, por primera vez, más grande que la contribución de cualquier combustible fósil por sí solo. Cabe destacar que para los próximos 20 años, en este escenario considerado plausible, las energías renovables por

Figura 5. Contribución porcentual a la cuota de la energía primaria mundial (izquierda); aportación de cada fuente primaria al crecimiento de la demanda energética (derecha)



su cuenta contribuirán cada vez más al crecimiento mundial de la energía que el petróleo. La mayor contribución del sector de los combustibles proviene del gas, alcanzando 31% del crecimiento previsto de la energía global.

Desde hace décadas, para acelerar la independencia energética de los combustibles, varios países trabajan en la investigación científica y tecnológica para el aprovechamiento de las EA, así como en la implementación de políticas y programas para su uso masivo. En este sentido, la Unión Europea es un ejemplo notable de estas aplicaciones, lo que explica el crecimiento de las ER en la figura 5. Con respecto a este punto, México comienza a incorporarse a estos programas, aunque con lentitud, y recientemente ha agregado fuentes de ER en sus planes energéticos de mediano plazo.

Acciones en política pública para la transición energética en México

México cuenta con abundancia de fuentes de ER, además de tener capital humano capaz de generar investigación y desarrollo para apropiarse o crear las tecnologías necesarias para su aprovechamiento, al igual que para promover una industria nacional (AMC, 2010). Lo anterior se traduciría en la creación de importantes puestos de trabajo, relacionados con la promoción mundial de los “empleos verdes”.¹ Ante esta situación, el país tiene

¹ Los “empleos verdes” están relacionados con la reducción del impacto ambiental de empresas e industrias mediante el ahorro y uso eficiente de energía, reducción del uso de materias primas y cuidado del agua; ayudan a disminuir las emisiones de gases efecto invernadero, reducir o evitar todas las formas de contaminación y buscan restablecer los ecosistemas y la biodiversidad (ITC, 2010).

una gran oportunidad, no sólo de satisfacer sus necesidades energéticas, sino de desarrollar, en los próximos años, una tecnología propia en este campo. Para ello se requiere, primero, de la voluntad política del Estado y, segundo, que quienes toman las decisiones cuenten con un conocimiento amplio sobre la importancia y las implicaciones productivas para la nación al comprometerse en lo relativo al desarrollo endógeno de ER.

Ante este panorama, la investigación y el desarrollo tecnológico (IyDT), la información y la difusión, así como la formación en los temas de fuentes de EA y de eficiencia energética (EE), se vuelven de fundamental importancia para el país, poniendo especial énfasis en el fortalecimiento de los factores requeridos para el aprovechamiento de las EA, en especial las de carácter renovable, al tiempo que se desarrolla un nuevo modelo de consumo, se fomenta la cultura del ahorro y del uso eficiente de la energía.

En esta materia, se debe diseñar una política que contenga, como elementos indispensables, un plan de formación de recursos humanos altamente calificados, el fortalecimiento de la investigación y el desarrollo tecnológico, así como la implementación de acciones necesarias, articuladas entre sí, con financiamiento y con objetivos claramente establecidos (AMC, 2010).

En años recientes, se han realizado esfuerzos con el objetivo de llevar a cabo el establecimiento de una política pública de apoyo a las EA. De hecho, en 2005, la Cámara de Diputados aprobó la iniciativa de ley para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía; sin embargo, esta iniciativa no fue ratificada por el Senado.

En este contexto, en 2007 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) la reforma a la Ley Federal de Derechos en Materia de Hidrocarburos, en donde se establece el pago de 0.65% del valor del petróleo crudo y el gas natural extraídos en el año. Este ingreso se aplicaría a la investigación científica y tecnológica en materia de energía; una parte de esta recaudación se destinaría al Fondo Sectorial Conacyt/Sener para Sustentabilidad Energética, el cual tiene como meta el impulso a la investigación científica y tecnológica aplicada a fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias y diversificación de fuentes primarias de energía.

Sumándose a esta iniciativa, en 2008 se publicó la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) (DOF, 2008), que tienen como objetivo principal la regulación del aprovechamiento de fuentes de ER y de tecnologías limpias, con la finalidad de generar electricidad con utilidades distintas a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética. Esta ley prevé la creación de un fondo público, el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, que serviría para financiar la estrategia nacional correspondiente.

Ese mismo año se publicó el decreto por el que se reformó y adicionó el artículo 33 de la Ley Orgánica de Administración Pública Federal (DOF, 2008b) que, entre otras cosas, demanda que el Ejecutivo federal envíe cada año al Congreso de la Unión, para su ratificación, la Estrategia Nacional de Energía (ENE).

Retomando la importancia de este proyecto, según la Estrategia Nacional de Energía, para el final del periodo 2012-2026 (Sener, 2012b), el sector energético operará con políticas públicas y un marco legal que le permitirá contar con una oferta de energéticos diversificada, suficiente, continua, de alta calidad y a precios competitivos (Sener, 2012b). Basado en ello, la ENE incluye como meta incrementar la participación de las fuentes de EA en la generación de electricidad en 35%. Asimismo, en dicha estrategia se considera como logro fundamental alcanzar un ahorro de energía de 15% respecto a la proyección de la línea base del consumo nacional de energía.

Por ello, en 2009, como parte de la LAERFTE, la Secretaría de Energía elaboró el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables (PEAER), que contiene los objetivos y las metas específicas de participación de las ER.

No obstante, a pesar de las acciones legales en favor, existen dudas sobre si los fondos para la promoción de las ER y de la EE serán realmente efectivos para lograr una transición energética en México. Los expertos en ER proponen que, para realizar dicha transición con mayor rapidez y eficacia, es necesario, entre otras acciones, promover a nivel legislativo la creación de una Comisión Nacional de las Energías Renovables (CNER), la cual atienda la evaluación y promoción de las ER. Además, también se plantea la necesidad de tener un Instituto Nacional de Energías Renovables (INER) que, trabajando en red con todos los centros y grupos de investigación en las diferentes tecnologías, sea el brazo tecnológico de la CNER, para así contribuir al desarrollo de la tecnología mexicana que deberá dar soporte

a la industria nacional emergente en el ramo. Añadidas a estas acciones, se deberá elevar a rango constitucional el aprovechamiento de estas energías y dictar por ley el establecimiento de las metas cuantitativas de mediano y largo plazo que habrán de alcanzarse (AMC, 2010).

Justamente, con el propósito de contribuir a la construcción de soluciones viables en relación con la situación energética actual del país y para un futuro sustentable, además de impulsar los avances señalados en este diagnóstico, en el presente documento se toman en cuenta las conclusiones y resultados de varias reuniones, como el Taller sobre Energías Alternas de la Academia Mexicana de Ciencias (2010), el Seminario Internacio-

nal México en los Escenarios Globales, la reunión de miembros de la Red de Fuentes de Energía en el campo de políticas públicas en energía y el simposio “La transición energética y las energías alternas, oportunidades y responsabilidades”, organizado por la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM (2011).

Asimismo, en este trabajo se expone una breve descripción del estado que guardan las EA en el ámbito tanto nacional como internacional, así como una serie de recomendaciones respecto de la investigación y el desarrollo tecnológico que deben realizarse en el país, a fin de que estas fuentes avancen de manera efectiva y sean parte, en el corto plazo, de la matriz energética nacional. Ⓣ

IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO QUE GUARDAN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

En 2010, la generación eléctrica con energías alternas (EA) significó poco más de 32% del total mundial; las energías renovables (ER) representaron 19.4%, en tanto la energía nuclear (EN) llegó a 12.8%. Es importante mencionar que los sistemas fotovoltaicos (FV), los eólicos, el biogás, los biocombustibles líquidos y la energía solar térmica registraron los crecimientos anuales más dinámicos de las EA, con valores de 44%, 25%, 15%, 11% y 10%, respectivamente (REN21, 2012). De manera consistente con lo anterior, la EE y el uso de las tecnologías de captura y secuestro de carbono (CCS, por sus siglas en inglés) se consideran de gran importancia. Por un lado, para prolongar el uso de los recursos fósiles existentes aprovechándolos racionalmente y, por otro lado, para tratar de desplegar un uso limpio de los recursos fósiles en términos de emisiones de CO₂.

Aunque existe una gran actividad de investigación científica y tecnológica relacionada con las fuentes fósiles, aquí sólo se hará referencia a las tecnologías que contribuyan a la transición energética hacia un sistema mundial sustentable en energía.

De todas las EA, las ER son las que más se han extendido en los mercados internacionales en los últimos años. En 2011, alrededor de 50 países contaban con tecnología eólica instalada, y la energía solar fotovoltaica crecía rápidamente en el mundo; a su vez, el interés en la geotermia se ha incrementado también por las expectativas sobre la existencia de importantes recursos en el mundo. Agregándose a estas fuentes, la producción de biocombustibles líquidos en Brasil, Estados Unidos y Europa ha crecido notablemente, y los calentadores solares de agua son usados en más de 200 millones de hogares. Cabe recalcar que la mayoría de las tecnologías de ER han experimentado un crecimiento continuo, tanto en fabricación de equipos como en ventas e instalación. Mucho de lo expuesto se debe a que los precios disminuyeron gracias a las ventas y los avances de la tecnología, especialmente en el campo del aprovechamiento de la energía solar.

La inversión mundial en ER tuvo un aumento de 17% de 2010 a 2011, lo cual significó una inversión de 257 000 millones de dólares; sin incluir la estimada en colectores solares de agua, que se calculó para ese año en 10 000 millones de dólares (REN21, 2012).

Conviene hacer notar que en el mundo, recientemente (2012) se ha disminuido el apoyo político y financiero a estas tecnologías, debido a las crisis y tensiones internacionales, lo cual ha provocado también un decremento en los apoyos al desarrollo de nuevos proyectos (REN21, 2012).

En lo que concierne a la eficiencia energética (EE), la Agencia Internacional de Energía (2012) estima que las mejoras en la producción de energía pueden contribuir a reducir 31% de las emisiones de CO₂, potencialmente alcanzables para 2050 en el sistema energético mundial. Esta reducción se lograría, en gran parte, controlando y disminuyendo el uso actual de tecnologías obsoletas y prácticas ineficientes que prevalecen en el mundo, así como atacando la falta de estándares y normas de consumo energético en equipos industriales y algunos electrodomésticos en el sector residencial, entre otros, además del bajo reemplazo de los vehículos en el transporte.

En cuanto a la EN, a inicios de 2012 se encontraban en construcción 66 plantas nucleares en 14 países, las cuales se calcula que representarán 63 849 MW de la producción de electricidad. Sin embargo, en marzo de 2011 se presentó el accidente nuclear más importante desde el de Chernóbil en 1986: la fuga radiactiva en la central de Fukushima Daiichi, en Japón, suceso que se ha convertido en un serio obstáculo para el desarrollo de la energía nuclear en el mundo.

Para concluir este apartado, debe señalarse el tema de la tecnología de captura y secuestro de carbono (CCS), con la cual se pretende desplegar una nueva generación limpia de centrales termoeléctricas en cuanto a sus emisiones de CO₂. En el mundo existen ocho grandes proyectos de CCS que están almacenando aproximadamente 23 millones de toneladas de CO₂. No obstante, esta tecnología está aún desarrollándose y siendo validada en el plano comercial, pero tiene, entre otros importantes retos, los altos sobrecostos que produce su incorporación en las centrales termoeléctricas a base de recursos fósiles.

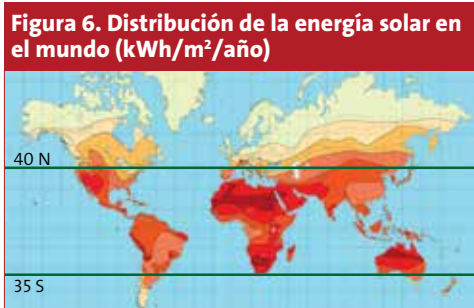
En la siguiente sección se presenta el estado que guardan la ciencia y la tecnología en cada una de las fuentes de EA consideradas en este estudio, así como en EE y en la tecnología de CCS.

Energía solar

La figura 6 muestra la distribución de energía solar incidente en la Tierra, dada en términos de la insolación diaria promedio anual, medida en kilowatt hora por m² (kWh/m²) por año. Los paralelos 40 °N y 35 °S definen la llamada “franja solar” o “cinturón solar” que tiene la peculiaridad de albergar al 70% de la población mundial y recibir la mayor cantidad de energía solar del planeta.

Como se observa en esta figura, México queda dentro de esta franja y su potencial de aprovechamiento de energía solar es uno de los más altos del mundo. Detallando esta posición, puede mencionarse que alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una insolación media del orden de los 5 kWh/m² al día, el doble del promedio en EUA. Particularmente, la zona del noroeste del país (los estados de Chihuahua, Sonora y Baja California) posee el recurso solar más abundante con insolaciones que rebasan los 6 kWh/m² al día.

Es clave recalcar que la energía solar consiste en un conjunto de radiaciones



electromagnéticas emitidas por el Sol, las cuales, al interactuar con diferentes tipos de materiales, son transformadas en otras formas de energía. De hecho, existen varios mecanismos naturales que convierten a la energía solar en otras formas de energía útiles para el ser humano. Entre esos mecanismos se encuentran los físicos, los químicos y los biológicos. A continuación se presentarán las principales tecnologías que aprovechan estos mecanismos para satisfacer necesidades energéticas humanas.

Es importante recordar que de todas las fuentes renovables que existen en el planeta, la energía solar es la más abundante; incluso puede afirmarse que, salvo la geotermia, todas las demás fuentes renovables de energía son manifestaciones indirectas de la energía solar que incide sobre la Tierra.

Para tener una idea más clara sobre la riqueza energética del Sol, debe destacarse que la energía solar que llega a la Tierra en diez días equivale a todas las reservas de petróleo, gas y carbón conocidas en la actualidad.

Este recurso solar en México es realmente abundante. A propósito de esto, con la calidad de insolación que tienen los estados de Sonora, Chihuahua y Baja California, y utilizando tecnologías solares instaladas en una fracción de los territorios de esos estados, se podrían satisfacer todas las necesidades energéticas de los mexicanos en el presente y en el futuro.

Energía solar fotovoltaica

De las tecnologías solares, la fotovoltaica (FV) es en la actualidad la que tiene el mayor crecimiento a nivel mundial. Esta tecnología está basada en las celdas solares. Como se sabe, la forma más común de

estas celdas se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del fotovoltaje o del potencial eléctrico entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo, de modo que se genere trabajo útil.

Como se acaba de decir con anterioridad, la industria de los paneles fotovoltaicos está creciendo muy rápidamente; dentro de éstos, los sistemas fotovoltaicos integrados a la red eléctrica son los que mayor crecimiento han tenido. En los últimos años, en particular, los europeos han instalado más sistemas fotovoltaicos en su región. Esto es debido fundamentalmente a las políticas energéticas vanguardistas de la Unión Europea.

Esta popularización de la tecnología a base de fotoceldas cuenta con una larga trayectoria de desarrollo tecnológico e industrial, lo que ha permitido que actualmente ofrezcan duración, confiabilidad y seguridad en su operación.

En este contexto, en 2011, el crecimiento del mercado mundial de las tecnologías FV fue notable: la capacidad operativa que se añadió fue de 30 GW; esto es, 74% más que en 2010, llegando a casi 70 GW. Por supuesto, la Unión Europea dominó el mercado mundial de FV, ya que significó casi tres cuartas partes del total mundial de energía de este tipo instalada (REN21, 2012).

La tecnología FV que ha tenido en años recientes los mayores crecimientos es la FV de silicio (Si). Sin embargo, este súbito crecimiento, aunado a las aplicaciones que se tienen del Si en la electrónica, produjeron un desabasto del material, promoviendo el flujo de inversión hacia la FV de películas delgadas, lo que dio una oportunidad para

los fabricantes de tecnología de cobre-indio-galio-selenio (CIGS).

Este crecimiento hizo de la tecnología FV una opción importante en la búsqueda de la sustitución de los HC y de la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), además de que este incremento ha logrado una significativa disminución en el costo de la inversión, que es quizás uno de los mayores obstáculos para la instalación de esta tecnología en los países en desarrollo.

La situación en México

Históricamente se reportan actividades en nuestro país relacionadas con la tecnología fotovoltaica (FV) desde mediados de la década de 1970. Para 1980, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN) puso en operación una planta piloto para fabricar módulos fotovoltaicos de silicio cristalino, con una capacidad de producción de 15 kW por año. Pese a este desarrollo temprano y al gran potencial de insolación (2 000 kWh/m² en promedio anual), en México se ha sacado poco provecho del uso de la tecnología FV, ya que su implementación en los últimos 20 años apenas ha crecido 1 MW por año.

La aplicación más utilizada en nuestro país es la de los sistemas FV autónomos, empleados para generar electricidad en las áreas rurales. El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha tenido un papel importante, en alianza con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), para aplicar esta tecnología en sistemas de telecomunicaciones, en telesecundarias y en clínicas en zonas rurales. De manera especial, el Fideicomiso de Riesgo Compartido FIRCO/Sagarpa y varias empresas agropecuarias, ante la falta de cobertura de la red eléctrica convencional,

han promovido el uso de esta tecnología para aplicaciones del sector productivo primario. También Petróleos Mexicanos (Pemex) ha utilizado recurrentemente los sistemas FV para accionar sistemas de monitoreo y control en plataformas petroleras. Además, en el país se han instalado algunos sistemas híbridos FV/eólicos.

A propósito de esta evaluación tecnológica, a finales de 1990 el IIE apoyó las primeras aplicaciones fotovoltaicas conectadas a la red y se llevaron a cabo proyectos piloto en las ciudades de Mexicali, Baja California, y Hermosillo, Sonora, destacando la especificación de los sistemas FV con una potencia de 1 kilowatt pico (kWp), los cuales se instalaron en 220 casas habitación en la ciudad de Mexicali.

Continuando con estos avances, desde 2008 la inversión de las empresas privadas en FV se incrementó, entre otras cosas por la aparición de la LAERFTE, ya que la Comisión Reguladora de Energía abrió esquemas de interconexión de pequeña escala para usuarios residenciales (hasta 10 kW) y usuarios de baja tensión (hasta 30 kW), incluso también para usuarios de mediana escala, hasta capacidades de 500 Kw (DOF, 2008); todos estos esquemas han sido aprovechados por usuarios residenciales, dueños de edificios públicos, empresas automotrices y cadenas de supermercados con sistemas FV conectados a la red (figuras 7 a 10).

Con este ritmo de crecimiento, en 2011 la capacidad instalada en México de sistemas fotovoltaicos era de sólo ocho millones de watts pico (MWp). Esta cantidad es muy pequeña comparada con lo que ocurre en otros países como España, que tenía en ese mismo año 4 338 MWp; o Alemania, que contaba con 17 370 MW. Sumándose a estas cifras, la capacidad

Figura 7. Planta fotovoltaica de 10 kWp, Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos



Figura 8. Central solar fotovoltaica “Santa Rosalía” de 1 MWp, CFE, Baja California Sur



Figura 9. Central solar fotovoltaica MUTEK de 30 kWp, CFE, Ciudad de México



instalada fotovoltaica en el mundo en 2010 alcanzó los 40 000 MWp.

Esto deja clara la tendencia de que los mercados futuros de las celdas solares dependerán estrechamente del desarrollo de la tecnología, en donde los esfuerzos de investigación se centrarán en una

combinación para aumentar la eficiencia y bajar los costos de producción.

Energía solar térmica de baja temperatura (ESBT)

La energía solar térmica se refiere a los sistemas tecnológicos solares que apro-

Figura 10. Planta fotovoltaica interconectada a la red del proyecto UNDP/GEF-IIIE de 180 kWp, Zacatecas



vechan la energía radiante del Sol para producir calor. En estos sistemas, la energía solar es captada por una superficie absorbente que transfiere el calor a un fluido térmico (agua, aire, aceite, u otros) para elevar su temperatura y así satisfacer los requerimientos de calor en distintas aplicaciones.

En función de la temperatura que puede alcanzar la superficie absorbente, los sistemas se clasifican como de baja, media y alta temperatura. En este apartado, se consideran los de baja temperatura (ESBT).

Se les denomina ESBT porque la temperatura alcanzada por el fluido térmico está por debajo del punto de ebullición del agua. Estos captadores solares de baja temperatura se utilizan para el calentamiento de agua en viviendas, en albercas, en algunos procesos industriales y en el sector

agropecuario; también se pueden usar para algunos procesos de desalación de agua, secado de alimentos, calentamiento de espacios y refrigeración (figura 11).

Esta tecnología solar de captadores de baja temperatura está muy desarrollada, cuenta con una industria ampliamente establecida a nivel mundial y está en rápido crecimiento. Por cierto, la aplicación más usada es la del calentamiento de agua para uso doméstico.

Debe señalarse que para finales de 2010, la capacidad de colectores solares térmicos en operación en todo el mundo era igual a 195.8 gigawatt-térmicos (GWt), correspondientes a 279.7 millones de metros cuadrados. En las postrimerías de 2011 esta cifra habría crecido 25%, a 245 GWt. De esta cantidad, 88.3% correspondió a colectores solares de placa plana (FPC) y de tubos al vacío (ETC), 11%

Figura 11. Secador solar y refrigerador solar intermitente, Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos



perteneció a colectores sin cubierta de vidrio, en tanto que sólo 0.7% provino de colectores solares para calentamiento del aire con y sin cubierta de vidrio. En la actualidad, China es el primer país en producción e instalaciones de sistemas ESBT (REN21, 2012).

La situación en México

Como ya antes se había comentado, el país cuenta con una elevada irradiación solar, del orden de 18 MJ/m² de promedio anual, lo que ofrece un gran potencial para su aprovechamiento. Esto fue entendido por algunos investigadores emprendedores, quienes iniciaron y promovieron la utilización de sistemas ESBT en los años sesenta del siglo pasado; por ello, la nación cuenta con fabricantes de calentadores solares de agua con más de 35 años de experiencia.

Es trascendente mencionar que México es uno de los mercados más importantes en el mundo en cuanto a instalación y venta de sistemas de ESBT. Como una muestra de ello, en el año 2010 se instalaron sistemas de captadores solares para calentamiento de agua en un área equivalente a 272 580 m², llegando a un acumulado en el país de 1 665 502 m² (figura 12).

Debido a la popularización de estos equipos, se cuenta en México con una norma para colectores solares de aplicación no

obligatoria, la NMX-ES-001-NORMEX-2005, así como una de sistemas solares en elaboración, la norma NMX-ES-004-NORMEX. Desafortunadamente, estas normas vigentes no se aplican, lo que ha resultado en el deterioro de la calidad de los sistemas que se están instalando.

A pesar de que en el país se tiene experiencia en la fabricación e instalación de captadores de energía solar, esta tecnología presenta varios problemas. Por ejemplo, no se cuenta con un inventario ni con bases de datos sobre el funcionamiento, mantenimiento y condiciones de operación locales de los equipos; tampoco se cuenta con políticas de aplicación masiva, ni de I+D+i ni de difusión sobre la existencia de las tecnologías, carencias a las cuales se añaden las limitaciones en la capacitación del personal que instala estos sistemas, entre otros conflictos.

Respecto a las otras tecnologías ESBT, como la de refrigeración, secado y producción de frío, éstas se encuentran en desarrollo incipiente en México y sólo se cuenta con algunos prototipos.

Energía solar térmica de media temperatura (ESMT)

Tomando en cuenta la clasificación expuesta en el apartado anterior, se le denomina energía solar térmica de media temperatura (ESMT) a la que se obtiene



Figura 12. Casas con calentadores solares (izquierda); programa de Hipotecas Verdes en Monterrey, Nuevo León, 2011 (derecha)

con sistemas de tubos evacuados o de concentración de energía solar, los que permiten alcanzar temperaturas en el fluido térmico superiores a los 100 °C pero menores a los 250 °C.

De hecho, el desarrollo de la llamada “tecnología para el calentamiento solar para procesos industriales” es un área relativamente nueva, la cual permite la aplicación de la energía solar a los sectores comerciales e industriales. Esto es fundamental, ya que el sector industrial tiene uno de los consumos energéticos más elevados en el mundo (en México corresponde a 26.3% del consumo final total de energía). No obstante, el uso de la energía solar en este sector es limitado a nivel mundial, pero tiene un gran potencial de desarrollo.

Uno de los principales condicionantes de energía para los procesos comerciales o industriales es que éstos necesitan normalmente de temperaturas por debajo de los 250 °C. Cabe resaltar que hay muchas aplicaciones para procesos en el sector industrial que requieren energía a temperaturas inferiores a los 80 °C, los cuales pueden ser fácilmente alcanzables con la tecnología comercial de los captadores solares planos o de tubos evacuados, presentes ya en el mercado. En cuanto a aquellas aplicaciones que

necesitan temperaturas superiores a los 80 °C y hasta los 250 °C, deben desarrollarse tanto los captadores solares de alta eficiencia como los concentradores solares, con sus diversos componentes para integrar sistemas. Entre esas aplicaciones se encuentran los sistemas para enfriamiento o refrigeración.

Actualmente hay 90 plantas termosolares para calor de proceso industrial que han sido reportadas en todo el mundo, las cuales alcanzan una capacidad instalada de cerca de los 25 megawatts térmicos (MWt) (35 000 m²). No obstante, su potencial es mucho mayor. Sólo en los países de la Unión Europea, se estima que el potencial es de 100 a 125 GWt. En lo referente a México, esta tecnología es incipiente, pues solamente hay algunos grupos de investigación trabajando en el desarrollo de tales plantas, y generando algunos prototipos.

Energía solar térmica de alta temperatura (ESAT)

Se denomina energía solar de alta temperatura y de alta concentración (ESAT) a la que se obtiene en los sistemas solares, si éstos alcanzan temperaturas mayores a 250 °C. La ESAT tiene aplicaciones valiosas en procesos industriales y en la generación de potencia eléctrica.

Figura 13. Módulo de concentrador solar parabólico para calor de proceso industrial, Instituto de Investigaciones Eléctricas



Las tecnologías de ESAT para generación eléctrica, también llamadas “tecnologías de potencia solar concentrada” (CSP, por sus siglas en inglés), han tenido en años recientes un crecimiento muy importante. Las plantas de potencia de concentración solar (CSP) producen potencia eléctrica transformando la energía solar en energía térmica a alta temperatura. Esta energía térmica es transferida al bloque de potencia para generar electricidad.

Para lograr rendimientos óptimos, las plantas de potencia de concentración solar pueden ser dimensionadas para generar electricidad para poblados pequeños (10 kWe) o para aplicaciones conectadas a la red (hasta 100 MWe o más). Algunos de estos sistemas usan almacenamiento térmico para periodos de días nublados o para utilizarse por la noche. Otras plantas pueden combinarse con sistemas que operan con gas natural, con lo cual

las plantas híbridas resultantes ofrecen potencia despachable de alto valor. Tales atributos, junto con el récord mundial de eficiencia de conversión solar-eléctrica (30% de eficiencia), hacen que estas tecnologías sean una opción muy atractiva en zonas del planeta, dentro del cinturón solar con una alta insolación, como las que existen en el noroeste del país.

Hoy en día existen cuatro tecnologías que están siendo promovidas internacionalmente. Cada una de ellas puede variar en diseños o en configuración. La cantidad de potencia generada por una CSP depende de la cantidad de radiación solar directa que incide sobre ella. Estas tecnologías utilizan fundamentalmente radiación solar directa. En la figura 14 se exhiben fotografías de las cuatro arquitecturas que existen: cilindro-parabólico, fresnel-lineal, disco-Stirling y de receptor central.

Figura 14. Plantas de potencia de concentración solar, con las cuatro arquitecturas existentes: a) cilindro-parabólico, b) fresnel-lineal, c) disco-Stirling, y d) receptor central



El ejemplo histórico más importante de las CSP es el complejo de potencia termosolar ubicado en Kramer Junction, California, con los llamados SEGS (Solar Energy Generating Systems). Este complejo está constituido por nueve plantas que utilizan concentradores del tipo cilindro-parabólico, los que en su conjunto ocupan una superficie de 2.5 millones de m² de concentradores solares. Los nueve SEGS de diferentes capacidades suman en total 354 MWe.

Dicho complejo termosolar se construyó entre los años 1986 y 1991. La experiencia en la operación de los SEGS en California arroja 100 años equivalentes de operación comercial, demostrando tener las más altas eficiencias solares y produciendo la electricidad solar más barata, con una alta disponibilidad de planta. Estos sistemas fueron diseñados como plantas híbridas con 75% de energía solar y 25% de gas.

Después de un largo periodo de aproximadamente 15 años de no edificar nuevas CSP, en los últimos años se están construyendo diferentes plantas en todo el mundo, a un ritmo acelerado. El incremento es sorprendente y se puede afirmar que hay más de 10 000 MWe en operación, construcción o desarrollo.

Como ejemplo de estas nuevas plantas se presenta a la CSP Gemasolar, ubicada en Sanlúcar La Mayor, en Sevilla, España. Ésta es una planta de 19.9 MWe, con arquitectura de receptor central, y es la primera planta comercial en el mundo que aplica la tecnología de receptor de torre central y almacenamiento térmico con sales fundidas. La producción eléctrica neta es de 110 gigawatts hora por año (GWh/año), generados a partir de un campo solar con 2 650 helióstatos en 185 hectáreas. El sistema de almacenamiento térmico de la planta consiste de un tanque de reserva de sales calientes, el cual permite una autonomía de generación eléctrica de hasta 15 horas sin aporte solar. Esto quiere decir que la planta opera las 24 horas. En la figura 15 se proyectan dos fotografías de la planta solar de la torre central Gemasolar, en operación.

Otra de las tecnologías de ESAT que se encuentra en desarrollo es la relacionada con la producción de combustibles solares, en particular hidrógeno o productos industriales.

La situación en México

En la República Mexicana la aplicación de ESAT es limitada. Sin embargo, ha habido investigación en el área, en universidades

Figura 15. Planta de energía solar por concentración “Gemasolar” (torre central), Torresol Energy, Sevilla, España



y en otras instituciones del país, por más de 30 años. Como ejemplo importante de estos trabajos se destaca el avance hecho en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, entre 1980 y 1981, en el cual se construyó y operó una planta solar con 16 módulos de concentradores cilindro-parabólicos con 550 m² de área de captación. La planta operó con aceite térmico que alcanzaba los 300 °C. Actualmente, la instalación cuenta con ocho módulos concentradores y un área de captación total de 275 m² (figura 16).

Otro ejemplo reciente de los esfuerzos que se están haciendo en ESAT, en particular para impulsar las tecnologías de generación de potencia termosolar, es el Campo de Pruebas de Helióstatos (CPH), recientemente inaugurado (octubre, 2011) en Hermosillo, Sonora. El CPH se desarrolló como uno de los subproyectos del plan denominado Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (LACYQS), financiado por el Conacyt, la UNAM y la UNISON, y cuya institución responsable es el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. El objetivo general de dicho plan es dotar a México de instalaciones de primer nivel para llevar a cabo la investigación y el desarrollo tecnológico en equipos de concentración solar, así como para ayudar a consolidar las redes de investigación y la formación de recursos humanos en el área.

El CPH es una instalación de tecnología de torre solar, única en Latinoamérica,

que cuenta con una torre de 33 m de altura, un laboratorio y un cuarto de control anexos, así como un campo de 15 helióstatos, cada uno de 36 m² y con razón de concentración de 25. Hoy en día se lleva a cabo en el CPH el desarrollo y la prueba de prototipos de helióstatos de fabricación nacional, componentes clave de la tecnología de torre solar.

En la segunda etapa del proyecto LACYQS, que ha iniciado en 2013, el CPH se transformará en una Planta Experimental de Torre Central, la cual contará con 82 helióstatos, para alcanzar una potencia total de 2 MW térmicos, con un nivel de concentración de 900. Además, se desarrollará también un receptor térmico y sus componentes auxiliares, los que permitirán llevar a cabo diversas investigaciones sobre generación eléctrica (figura 17). Se espera que estas instalaciones permitan impulsar el desarrollo de una industria nacional de CSP.

También en el área de la ESAT y dentro del LACYQS se ha construido y está en operación un Horno Solar de Alto Flujo Radiativo (HoSIER), con capacidad de 30 kWt, que llega a concentraciones solares pico por arriba de 18 000, alcanzando temperaturas arriba de los 3 400 °C. Este horno está ubicado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM, en Temixco, Morelos (figura 18).

Esta instalación de primer nivel es la primera en América Latina. En ella se está haciendo investigación y desarrollo tec-

Figura 16. Planta solar, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1980



Figura 17. Campo de pruebas de heliostatos del Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar, IER-UNAM/UNISON, Hermosillo, Sonora, 2012



Figura 18. Horno Solar de Alto Flujo Radiativo (HoSIER), Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar, Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos, 2012



nológicos en diversos tópicos de la concentración solar (estudio y desarrollo de materiales, procesos, dispositivos, etc.), en particular en el almacenamiento de energía por medios termoquímicos, enfocados a la producción de combustibles solares y de diversos productos industriales.

A pesar de que algunos de los grupos de investigación en el área de concentración tienen reconocimiento y colaboración internacional, y que están formando a investigadores jóvenes, todavía es reducida

la comunidad de investigación en el área de la ESAT. Se considera que este problema se debe, fundamentalmente, a la falta de una política pública que visualice esta área como estratégica y que apoye y amplíe los esfuerzos realizados hasta la fecha.

Es relevante enfatizar que una de las características que tiene la energía solar es su intermitencia. Este inconveniente, desde el punto de vista de fuente primaria de energía, se ha resuelto con las

estrategias de hibridación de sistemas o de almacenamiento energético. En la estrategia de hibridación, los sistemas solares se han acoplado a sistemas fósiles para garantizar el servicio energético cuando se necesite. En la estrategia para almacenar se han desarrollado sistemas de almacenamiento de energía solar para satisfacer la demanda en las horas en que no se cuente con el recurso solar. Estas estrategias están siendo muy exitosas y han permitido el crecimiento notable de los mercados de varias de las tecnologías solares.

Bioenergía

La bioenergía es la fuente de energía que se obtiene de la biomasa, que puede ser leña, carbón vegetal, residuos agrícolas, pecuarios y municipales (susceptibles de quemarse directamente o gasificarse para producir calor y electricidad; o en su defecto, estos residuos pueden transformarse vía procesos aeróbicos o anaeróbicos para la obtención de biogás). También en este apartado entran las plantaciones para la producción de biocombustibles, los cultivos energéticos terrestres y, últimamente, cultivos energéticos acuáticos (por ejemplo, algas).

La producción sostenible de biomasa brinda numerosos servicios ambientales, incluyendo el control de la erosión del suelo, la regulación del ciclo hidrológico y la protección del hábitat de fauna silvestre. Si las plantaciones energéticas se establecen en tierras degradadas, es posible rehabilitarlas mejorando la calidad y fertilidad del suelo.

La capacidad instalada en generación eléctrica con bioenergía aumentó en el mundo de 66 GW en 2010 a casi 72 GW a finales de 2011. La electricidad se genera

a través de un 88% de la biomasa sólida y residuos sólidos urbanos, la cual se aprovecha a partir de plantas de fuego directo o co-combustión (con carbón o gas natural) (REN21, 2012).

En esta área, Estados Unidos es el líder mundial en generación eléctrica proveniente de la biomasa sólida y de residuos sólidos urbanos: a finales de 2011, la capacidad instalada en ese país era de casi 14 GW. Esto es una prueba de que el uso de la bioenergía en el mundo está creciendo, particularmente con los pellets de madera, el biodiesel y el bioetanol como principales combustibles comercializados. Los mercados de la UE son los de mayor expansión, donde estos combustibles son utilizados para la calefacción (REN21, 2012).

Sin embargo, las plantaciones y cultivos energéticos en grandes extensiones de superficie han sido objeto de severas críticas relativas a los problemas sociales, ambientales y al desarrollo económico en las regiones pobres, porque presentan repercusiones negativas sobre la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas, así como sobre la producción de alimentos; en este último aspecto, se ha evidenciado que el aumento de cultivos energéticos impacta en el alza de los precios. Aunado a lo anterior, en algunos países (como Brasil) se ha favorecido a las corporaciones y a grandes agricultores en detrimento de los agricultores locales.

La situación en México

El potencial de la bioenergía en México se estima entre 3035 PJ/año y 4550 PJ/año (AMC, 2010). Destaca especialmente el potencial energético de la biomasa proveniente del manejo y explotación sustentable de los bosques naturales (especialmente del

uso de sus residuos), los subproductos agrícolas, los residuos sólidos municipales, las plantaciones forestales y los cultivos energéticos. Pese a este importante potencial, en el país solamente se explota la versión más tradicional, es decir, el consumo de leña como combustible residencial y en pequeñas industrias, en tanto que el bagazo de caña es empleado en los ingenios azucareros.

Recientemente, en el país se ha iniciado la explotación de lo que se denomina la “primera generación de biocombustibles”, a raíz de la entrada en vigor de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (DOF, 2008a).

Esta tendencia hace suponer que, aunque se tenga un gran potencial de bioenergía, no se debe contemplar que esta fuente sustituya toda o la mayor parte de la energía obtenida de los combustibles fósiles. Así, la bioenergía debe constituirse como complemento del abanico que representan las ER.

Debe mencionarse que, a diferencia de la energía eléctrica que se obtiene como producto con la mayoría de las fuentes de ER, corresponde a la bioenergía aprovechar las características de transformación de la biomasa para la obtención de combustibles sólidos, gaseosos, pero sobre todo

líquidos, para que sean utilizados en sectores como el del transporte (AMC, 2010).

México tiene importantes fortalezas en cuanto a bioenergía, ya que cuenta con estudios sobre la disponibilidad de suelos y de los recursos que se pueden aprovechar de manera sustentable para generar biocombustibles sin afectar la generación de alimentos. Además, el país tiene laboratorios universitarios y centros de investigación y desarrollo tecnológico para la producción de bioenergía, los cuales le dan capacidad para desarrollar tecnologías de transformación para obtener biocombustibles (figura 19). En este rubro, incluso, ya se cuenta con instalaciones comerciales que aprovechan el recurso de la bioenergía (figura 20).

Pese a los avances descritos, se presentan también debilidades que impactan en el desarrollo de la bioenergía, entre las cuales se encuentran un marco normativo insuficiente para alentar la formación de mercados de biocombustibles y una incipiente masa crítica de recursos humanos especializados en el área. Hace falta una política energética integral en cuanto a unificar proyectos nacionales que abarquen I+D+i, aspectos agrícolas, manejo de bosques, logística de la recolección y transporte de la biomasa y, por

Figura 19. Plantaciones agroforestales con acacias, Cuentepec, Morelos (izquierda); plantaciones de *Jatropha curcas*, Miacatlán, Morelos, (derecha)



Figura 20. Planta de generación de electricidad de 5.3 MW a partir del biogás producido con residuos sólidos urbanos de la ciudad de Monterrey, Nuevo León



supuesto, la transformación de materiales en bioenergía y biocombustibles con una evaluación de los impactos ambientales, sociales y de aspectos de distribución y mercadeo (AMC, 2010).

Energía eólica

El viento es una fuente de energía que puede ser utilizada para generar electricidad o energía mecánica. A la tecnología que convierte el viento en energía eléctrica se le denomina aerogeneradora (figura 21).

Entre las EA, la energía eólica es la que mayor presencia ha alcanzado en el mercado mundial, contando al terminar

2010 con poco más de 196 GW. En 2011, ésta aumentó su capacidad 20%, llegando a casi 238 GW, cifra que significa la adición más grande de ER a la capacidad de generación mundial. Cabe señalar que China representó casi 44% del mercado mundial, seguido de EUA y Alemania (REN21, 2012).

La industria eólica mundial se ha convertido en un negocio de gran importancia. En buena medida esto se ha debido a que la tecnología ha alcanzado tal madurez que resulta una fuente alternativa con eficiencia, confiabilidad y menores costos. Las inversiones en este sector

Figura 21. Aerogeneradores: de eje vertical (izquierda); de eje horizontal (derecha)



se han incrementado sostenidamente en los últimos años. Para fines de 2010, la industria eólica ya empleaba a cerca de 670 000 personas en el mundo (REN21, 2012).

La situación en México

El recurso eólico en el país es cuantioso. En algunas regiones de Oaxaca, Baja California, Chihuahua, Tamaulipas, Zacatecas y Yucatán, se cuenta con características de velocidad y constancia de vientos que convierten a México en uno de los mejores lugares en el mundo para este modo de producción de energía (Huacuz, 2010).

El uso comercial a mayor escala de la energía eólica apenas empezó en el segundo lustro de la década anterior; sin embargo, su despliegue ha sido rápido, ya que en cinco años (de 2007 a 2012) pasó de una capacidad instalada de 86 MW a 1 647 MW. Esta producción fue impulsada por un importante descenso en el costo de inversión de estos proyectos eólicos (CFE, 2012).

En el país, son dos los problemas fundamentales unidos al apogeo del aprovechamiento del viento: las centrales eólicas construidas hasta ahora, así como las que se encuentran en distintas etapas de construcción y desarrollo, utilizan aerogeneradores importados (Huacuz, 2010); y,

por otra parte, es notorio el bajo pago a los campesinos por rentar sus tierras.

La falta de información a la población y el desconocimiento de las grandes empresas eoloelectricas sobre el establecimiento ejidal y la cultura de muchas poblaciones del país, así como la falta de rentas de tierra más justas para el establecimiento de parques eólicos, han provocado fuertes y constantes protestas, demandas y hasta la interrupción de proyectos. A pesar de esto, en 2011, México ocupó el segundo lugar latinoamericano en potencia eólica instalada, con 354 MW de nuevas instalaciones, quedando sólo después de Brasil, que instaló 583 MW nuevos.

Se observa también que la CFE ha tenido un papel marginal como productor de electricidad a partir de la energía eólica, siendo la inmensa parte del desarrollo de este producto de la iniciativa privada. Para finales de 2012, la CFE participaba con cinco proyectos de instalaciones eólicas de los 17 que hay en el país. El resto de los proyectos pertenecen a la iniciativa privada y se desarrollaron para autoconsumo. En capacidad, lo anterior representa 593.9 MW, mientras que la capacidad instalada del sector privado asciende a 737.8 MW; por último, los gobiernos de Baja California y Chiapas han instalado 38.8 MW, (figura 22).

Figura 22. Parques eólicos: en Oaxaca, México, 2011 (izquierda); CFE, Nisan (derecha)



Retomando la popularización de la energía eólica, para inicios de 2011, la Comisión Reguladora de Energía había otorgado 27 permisos de generación para plantas eoloelectricas, con una capacidad total autorizada de 3 175.3 MW, repartida en los estados de Oaxaca, Baja California, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz. También se otorgó un permiso para una planta de 153 MW en Zacatecas, para iniciar operaciones a finales de 2013. Por otra parte, se iniciaron estudios de evaluación del recurso eólico en Atexcal, Puebla, para instalar una planta que abastecerá varias industrias en aquella entidad (Sener, 2012a).

En el plano del desarrollo tecnológico, el IIE, en colaboración con otras instituciones como el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ), ha tratado de emprender el desarrollo de una turbina eólica de 1.2 MW de capacidad, con el objetivo de que ésta se pueda adaptar para operar en las condiciones de vientos intensos de la región de La Ventosa, Oaxaca. Paralelamente, el IIE ha estado también trabajando para la integración de un consorcio industrial que fabricaría y comercializaría los productos de este desarrollo. Esta misma institución, desde el año 2010, ha estado desarrollando un Centro Regional de Tecnología Eólica, que ya cuenta con infraestructura experimental para desarrollar y mejorar la tecnología eólica en las condiciones de viento del Istmo de Tehuantepec, y que, a su vez, tiene como objetivo formar recursos humanos en esta área.

El estado de la tecnología eólica mexicana pone de manifiesto la falta de una política pública de I+D+i, la escasez de grupos de investigación, el atraso en el desarrollo tecnológico, así como la falta

de técnicos e ingenieros en esta área, factores que jugarán un papel importante en el futuro de México, dado los cuantiosos recursos eólicos nacionales.

Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. En presencia de agua, el calor puede hacer que ésta alcance temperaturas elevadas y alta presión, lo que genera agua caliente o vapor de agua. Este fluido térmico puede aprovecharse para producir electricidad (a través de turbinas de vapor funcionando con o sin ciclos binarios) o para acondicionar ambientes vía bombas de calor.

En cuanto a esta tecnología, los sistemas convectivos hidrotermales son los sistemas geotérmicos más convencionales, los cuales se explotan comercialmente en la generación de hidroelectricidad. Tales equipos convectivos están constituidos por una fuente de calor, fluido (líquido o vapor) y roca, en donde se almacena el fluido geotérmico a temperaturas de hasta 500 °C, aproximadamente. Estos sistemas pueden a su vez clasificarse en yacimientos de vapor dominante, líquido dominante de alta entalpía y líquido dominante de baja entalpía.

En la actualidad, al menos 78 países utilizan energía geotérmica. La mayor parte del crecimiento del uso de este recurso se debe a su utilización como fuente de calor, mientras que la expansión de la generación eléctrica con geotermia ha sido modesta (REN21, 2012). Los países que destacan por su producción y capacidad instalada son: EUA, Filipinas, Indonesia, México, Italia, Islandia, Nueva Zelandia y algunos de Centroamérica y del este de África.

Es clave señalar que la energía geotérmica ha logrado grandes avances para su aprovechamiento, debido primordialmente al desarrollo de nuevas tecnologías, tales como los sistemas geotérmicos avanzados o mejorados, conocidos como sistemas de roca seca caliente. Dichos sistemas se caracterizan principalmente por la disponibilidad de una fuente de calor (roca caliente) y la ausencia de fluidos. Su explotación implica la creación artificial de un yacimiento fracturado mediante técnicas de fracturamiento hidráulico, el cual va acompañado por la inyección de agua a temperatura ambiente a través de un pozo inyector perforado específicamente para estos fines. Esta agua es calentada por conducción al entrar en contacto con la roca seca caliente y, después de adquirir condiciones adecuadas de presión y temperatura, es extraída mediante un segundo pozo productor para su aprovechamiento en la superficie.

Este recurso geotérmico se encuentra disponible en el subsuelo, en un tramo de entre 2 y 4 km de profundidad, con temperaturas de 90 a 350 °C, por lo que se consideran sistemas muy abundantes y prácticamente inagotables. No obstante, aunque el proceso de explotación parece ser simple, tecnológicamente presenta aún barreras y retos por resolver para su adecuada explotación comercial (AMC, 2010).

Una tecnología modesta, con un principio simple de funcionamiento, resulta ser la más desarrollada hasta el momento. La climatización geotérmica se comercializa ya desde hace un tiempo y está teniendo un auge importante. Tales dispositivos funcionan como los sistemas de aire acondicionado convencionales, sólo que el sumidero térmico ya no es la

atmósfera sino la Tierra. De esta manera, las tuberías se sumergen de 60 cm hasta decenas de metros, para así entrar en contacto con el terreno de la edificación (o incluso se pueden sumergir en depósitos de agua, como ríos o lagos, que sirven como sumideros térmicos). Estas mismas tuberías también recorren la edificación a acondicionar desde donde intercambian calor con el sumidero. Dichas instalaciones pueden ser de baja entalpía (sin bomba de calor) o de alta entalpía (con bomba de calor). Las primeras son las más económicas, pues sólo necesitan de tuberías para intercambiar calor entre el terreno y el recinto a acondicionar. Por su parte, las segundas requieren de una bomba de calor para aumentar el intercambio de calor entre los dos depósitos.

A nivel mundial, en 2011, la energía geotérmica proporcionó un estimado de 205 TWh, siendo una tercera parte en forma de electricidad (11.2 GW), mientras que los dos tercios restantes se emplearon en forma de calor para uso directo (REN21, 2012).

La situación en México

En este momento, México tiene ante sí la compleja tarea de consolidar el aprovechamiento energético de la geotermia, pues aún no cuenta con un potencial geotérmico completo. Por tal motivo, se explotan sistemas hidrotermales convectivos de vapor y líquido dominante, con los cuales la Comisión Federal de Electricidad ha ido adquiriendo experiencia tecnológica para aprovechar los recursos de los campos geotérmicos identificados (AMC, 2010).

En 2010, el país contaba con una capacidad instalada de 958 MW, colocándose en cuarto lugar en el mundo, después de EUA (3 093 MW), Filipinas (1 904 MW) e

Indonesia (1 197 MW) (Sener, 2010). Posteriormente, el 31 de diciembre de 2011, México ya contaba con 38 unidades de generación geotermoeléctrica en operación, siendo la central de Cerro Prieto en Mexicali, Baja California (figura 23), el mayor contribuyente a esta generación, con 645 MW instalados, lo que representa 72% de la capacidad geotermoeléctrica en operación. El 28% restante correspondió a las plantas ubicadas en Los Azufres, Michoacán (191.6 MW), Los Humeros, Puebla (40 MW) (figura 24), y Tres Vírgenes, Baja California Sur (10 MW).

Además de las capacidades ya instaladas, se estima que existe un potencial probado conjunto de 1 144 MW en Los Azufres, Los Humeros, Cerro Prieto y también el Cerrito Colorado, en Jalisco. Aunado a esto, se estima que hay 9 500 MW más en reservas probables y posibles que podrían explotarse, pero que por sus volúmenes, situación geológica o diseño tienen menor probabilidad de ser recuperadas (Sener, 2012a).

Por otra parte, el potencial geotermoeléctrico en México con recursos de roca seca caliente se estima en 27 400 MW,

Figura 23. Campo geotérmico de Cerro Prieto, CFE, Baja California, México



Figura 24. Campo geotérmico Los Humeros, CFE, Puebla, México



para una profundidad máxima de 3 000 metros, lo que representa alrededor de 25 veces la capacidad geotermoeléctrica instalada en la actualidad en toda la República. Sin embargo, como ya se mencionó, la tecnología de sistemas geotérmicos mejorados sigue aún en desarrollo, por lo que no podemos explotar este recurso a corto plazo.

En cuanto a la climatización geotérmica, en el mundo hay un crecimiento importante de esta aplicación, pues para 2009 ya había alrededor de 35 000 MWT instalados en varios países. Pese a ello, en México apenas comienza el uso de esta tecnología, por lo que es difícil conocer cuál es la capacidad instalada, ya que el sector en que mayoritariamente se aprovechan estos dispositivos es el privado, residencial y comercial, por lo que resulta difícil de cuantificar.

En este último punto, los usos directos se han concentrado en aplicaciones de recreación (balneología). También se han desarrollado algunos proyectos piloto, como la extracción secundaria de minerales en lagunas de evaporación. Otras de las utilidades de la geotermia son: la calefacción de oficinas e invernaderos, el secado de frutas y verduras, el germinado de bulbos, la producción acelerada de flores y hongos comestibles, el secado de madera, y la refrigeración y purificación de efluentes industriales (AMC, 2010).

Energía hidráulica

La energía hidráulica consiste en aprovechar las energías potencial y cinética asociadas a las caídas de agua, así como la diferencia de alturas entre dos puntos del curso de un río, para generar electricidad.

La tecnología hidroeléctrica está ampliamente desarrollada en el mundo, por

lo que se le considera una tecnología madura y de alta eficiencia, aunque con costos de inversión relativamente altos. La mayor parte de la energía hidráulica que se aprovecha a nivel mundial se genera a través de centrales hidroeléctricas de gran tamaño, en tanto que una proporción menor se obtiene por medio de centrales hidroeléctricas de pequeña escala.

La definición de una central hidroeléctrica de pequeña escala varía dependiendo del país. Por ejemplo, Europa delimita esta categoría si la producción no rebasa los 10 MW; por otro lado, en China y en algunos países de América Latina, el límite puede llegar hasta 25 MW; a su vez, existen países donde una minicentral no rebasa los 2 MW. En lo concerniente a México, una microcentral es la menor a 100 kW, mientras que se considera minicentral a la que va de 100 kW a 1 MW, y como pequeña central se reconoce a la que va de 1 a 30 MW (AMC, 2010) (figura 25).

Gracias a las economías de escala, las grandes centrales hidroeléctricas son en general competitivas, especialmente en los segmentos de la semibase y de los picos de la generación eléctrica, pese a sus relativamente altos costos de inversión. Por otra parte, las hidroeléctricas de pequeña escala han permitido generar electricidad para zonas aisladas, y generalmente han sido también competitivas con otras fuentes de energía, tanto convencionales como renovables, para autoabastecer parcial o completamente a empresas o localidades. Además, comúnmente gozan de una mejor aceptación social respecto a las grandes centrales hidroeléctricas, debido a que representan un área de menor impacto ambiental (AMC, 2010).

La energía hidroeléctrica es, hasta hoy, la fuente de ER más importante en el

Figura 25. Central hidroeléctrica de 30 MW “Ambrosio Figueroa”, CFE, La Venta, Guerrero, México



mundo. Se estima que el mercado de la hidroelectricidad es aún sustancial, pese a la oposición por motivos de impacto ambiental de la gran hidroelectricidad. Dentro de este contexto, el mercado de las centrales de pequeña escala, que tienen más aceptación social, es mucho más prometedor, ya que se están desarrollando rápidamente en países de Asia, África y América Latina (REN21, 2012).

La situación en México

La nación cuenta con una importante cantidad de capacidad instalada proveniente de centrales de generación hidroeléctrica. Para 2010, ésta fue de 11 503 MW; 86.4% correspondió a grandes centrales, mientras que 13.6% a centrales de pequeña escala (Sener, 2011).

A pesar de la amplia aplicación de la energía hidráulica en el país, existe un potencial importante de este recurso, especialmente para la gran hidroelectricidad.

En cuanto a las centrales de pequeña escala, aún no se conoce su potencial en su totalidad; no obstante, los estados de Chiapas, Tabasco, Oaxaca y Veracruz son los que presentan el mayor potencial, de acuerdo con la información actual (Sener, 2011). También se tienen cuencas que pueden aprovecharse con desarrollos de menor escala, aunque algunas requieren ser evaluadas para determinar el tamaño de los sistemas más factibles de instalar en zonas promisorias (AMC, 2010).

Energía oceánica

El océano representa un importante recurso de ER que hasta ahora ha sido poco explotado. Dicha energía se manifiesta en forma de mareas, olas, corrientes marinas y gradientes térmicos y salinos.

En 2010, en el mundo había poco más de cinco plantas de energía oceánica; tres de ellas aprovechan las mareas: la planta de La Rance, Francia (figura 26),

Figura 26. Central maremotriz de 240 MW, La Rance, Francia



con una capacidad de 240 MW, otra en Canadá de 20 MW, y una más en China de 5 MW. Existen también dos que aprovechan las corrientes marinas: una en Noruega y otra en Gran Bretaña.

En 2011, la capacidad mundial de generación de energía oceánica se duplicó con la puesta en marcha de una planta para utilizar las mareas, de 254 MW, en Corea del Sur; una más que aprovecha el oleaje, de 0.3 MW, en España; y otra más, en Francia, para emplear las corrientes marinas. Entre todas las plantas establecidas en el año antes mencionado, se acumuló una capacidad total instalada en el mundo de 527 MW (REN21, 2010).

Estos avances se han impulsado debido a que la energía oceánica presenta varias ventajas: no emite GEI, y su tecnología, que conlleva varios años de I+D+i, está en vías de maduración. Sin embargo, los efectos negativos a la flora y fauna del lugar, sumados a su alto costo de inversión, explican su débil desarrollo actual.

De acuerdo con los programas de los fondos nacionales e internacionales

dedicados a la I+D+i en ER, se espera una inversión de más de 300 millones de dólares para aprovechar la energía del océano (AMC, 2010).

La situación en México

En México no existe aún capacidad energética proveniente de aprovechar la energía oceánica. El interés sobre esta energía renovable ha sido muy escaso. Aunque desde 1976 la CFE emprendió un estudio de métodos para su aprovechamiento, hubo que esperar hasta 1996 para que el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML-UNAM) propusiera un sistema de bombeo, a través de la energía del oleaje, para el manejo de pesquerías en comunidades rurales. Posteriormente, en el año 2005, la CFE intentó aplicar la tecnología de una patente australiana para el aprovechamiento de la energía de las olas.

La CFE ha trabajado en el estudio de la energía del oleaje a través de un proyecto en Rosarito, Baja California, para conseguir fines múltiples: generación eléctrica, desalinización, o una combinación de

ambos (AMC, 2010). Por otro lado, estudios de la Sociedad Geológica Mexicana para evaluar el potencial de energía oceánica en algunas regiones del país muestran un potencial de poco más de 38 000 MW en el alto Golfo de California, así como un potencial de 5 kW/m² entre las islas Tiburón y Ángel de la Guarda. Otras investigaciones realizadas en el Instituto de Ingeniería (II-UNAM) confirman la existencia de un potencial mareomotriz en el alto Golfo de California de 26 000 MW. Esta misma institución, en la unidad del Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros (LIPC) de Yucatán, está desarrollando dos prototipos del hidrogenerador IMPULSA, el cual es un dispositivo que aprovecha las corrientes oceánicas y transforma su energía cinética en eléctrica.

Energía en edificaciones

A nivel mundial, los sectores residencial y comercial son los primeros consumidores de energía: 40% total; 27% correspondió al sector residencial, en tanto que 9% fue empleado en él. La mayor parte de este consumo energético se va a la operación de las edificaciones. Esto se debe a que, en los últimos 20 años, las construcciones, tanto comerciales como residenciales, han tenido un importante crecimiento, con el consecuente incremento en la demanda de energía, agua y generación de residuos.

Debido a esto, se ha vuelto indispensable plantear medidas de EE en el sector de edificios. Ante ello, países miembros de la UE, Japón, Australia, Nueva Zelanda, Canadá y EUA, entre otros, han implementado, desde todos los niveles de gobierno y la iniciativa privada, normas y estándares de calidad en las edificaciones, los cuales permiten reducir de manera significativa el consumo de energía (AMC, 2010).

EUA, por medio de la Agencia Internacional de Energía, emitió en 2009 la Certificación en Eficiencia Energética, como un instrumento clave de política para ayudar a los gobiernos a reducir el consumo energético en los edificios. En este mismo rubro, el Reino Unido implementó un Certificado de Comportamiento Energético, obligatorio para los departamentos en renta; en tanto que la UE cuenta con un proyecto de edificaciones eficientes.

La situación en México

Por ser México un país predominantemente cálido, donde las ciudades de mayor crecimiento en la actualidad se ubican en la frontera norte (clima cálido seco) y en el sureste (clima cálido húmedo), se presenta una tendencia clara al incremento en el consumo energético de los edificios, que se acentuará por el uso cada vez más frecuente de sistemas de aire acondicionado (AMC, 2010).

En la República se han desarrollado diversos proyectos de investigación en sistemas pasivos para el confort térmico en diferentes instituciones: en la UNAM (IER, II y Facultad de Arquitectura), en la Universidad Autónoma Metropolitana, en la Universidad de Colima y en la Universidad de Sonora, entre otras. En este renglón, se han elaborado normas,² mismas que no han tenido el éxito esperado porque su aplicación ha sido muy limitada, debido principalmente a que no se les ha incluido en los reglamentos de construcción. Por otro lado, también se están

² NOM-008-ENER-2001 para Eficiencia Energética en Edificaciones, envolvente de edificios no residenciales y NOM-020-ENER-2011 para Eficiencia Energética en Edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional.

desarrollando proyectos que además de contribuir a mejorar los flujos de calor en las edificaciones disminuyen el impacto ambiental producido por ellas, como es el caso de las azoteas y los muros verdes (figura 27).

Conviene hacer notar que si bien el país tiene una amplia experiencia en certificación de productos, no cuenta con la certificación de edificaciones, aunque debe reconocerse que existen varios grupos de investigación dedicados al estudio del consumo de energía en edificios y hay una colaboración e intercambio entre ellos.

Eficiencia energética en el uso de los HC

Las fuentes primarias de energía que dominan en el mundo son los hidrocarburos (HC), los cuales corresponden a 81.2% de toda la energía primaria producida y consumida (proveniendo 31.8% del petróleo, 21.3% del gas y 28.1% del carbón). Esta enorme dependencia de los HC es la causante, en buena medida, del cambio climático y de sus consecuencias para el ser humano, ya que es de conocimiento general que existe una producción gigantesca de gases de efecto invernadero debido al uso intensivo de los hidrocarburos. Resulta importante, en consecuencia,

lograr la reducción de los HC, máxime si consideramos que el crecimiento de la población mundial y el aumento de los niveles de vida de la misma están reforzando la demanda de energía, la cual aún se va a satisfacer durante varios años a través del uso de los HC, ya que la sustitución de estos combustibles por energías alternas es un proceso gradual y de largo plazo.

Desde esta perspectiva, las acciones de eficiencia energética (EE) —expresadas en este trabajo como “ahorro de energía”— están orientadas a la optimización y reducción de la cantidad de energía consumida proveniente de los HC usados en la generación de productos y servicios finales que demanda la sociedad. Tales acciones son un elemento crucial para la transición energética hacia las energías alternas y sustentables, así como para la disminución del impacto ambiental, especialmente del cambio climático.

La EE se puede lograr tanto del lado de la oferta (producción de energía) como del de la demanda (consumo). Las políticas actuales dan énfasis en lograr EE en la oferta, pues es un hecho que el sector de producción y transformación de la energía es muy intensivo en el uso de HC, por lo que presenta un gran potencial para mejorar su eficiencia. A nivel mundial, es-

Figura 27. Azotea verde en la estación del Metro Insurgentes, México, D. F.



tas oportunidades pueden ser en unas regiones mayores que en otras, como es el caso de las centrales carboeléctricas de China, las cuales consumen 22% más mineral que sus homólogas en EUA.

Este fenómeno se repite en un gran número de países en desarrollo, en gran parte porque suelen usar e inclusive adquirir tecnologías obsoletas, que además son manejadas de manera ineficiente, lo que en conjunto se traduce en posibilidades de mejorar la EE entre 50 y 60%. Un ejemplo de esto se tiene en la falta de estándares de consumo energético en toda clase de equipos que se usan en la producción y transformación de los HC, destacando los motores y las calderas, además de las pérdidas energéticas, la falta de mantenimiento, el desaprovechamiento de calores de desecho, la ausencia de reingeniería en los procesos térmicos y la quema de gas. De hecho, la AIE (Agencia Internacional de la Energía) estima que las mejoras en EE pueden contribuir a la reducción de 47% de las emisiones de CO₂ potencialmente alcanzables en 2030 vinculadas con el sector energético.

Por lo que respecta a la EE del lado de la demanda, en esta sección se trata de abordar el problema en lo que se denomina “final de tubo” y que igualmente presenta un muy importante margen de mejora. Esta opción fue la primera en abordarse cuando nació el concepto de EE en la década de 1970, con el primer choque petrolero; incluso tuvo un gran avance en Europa, en particular en Francia, donde se acuñó el término de “yacimiento de las economías de energía”, y se creó la primera institución abocada ex profeso a tratar este tema. La falta de estándares en los equipos del sector industrial, de los electrodomésticos en el sector residencial

y de los equipos de aire acondicionado, así como del uso de sistemas pasivos y activos solares en las edificaciones, además del bajo reemplazo de los vehículos en el transporte, representan importantes posibilidades para reducir el consumo de HC a nivel mundial, por mencionar algunos ejemplos.

El descenso de los precios del petróleo relajó estos programas de EE, los cuales fueron retomados durante el segundo choque petrolero, con la misma suerte de freno tras este evento. Hoy en día, esta materia se está abordando con un nuevo enfoque, que integra al menos cuatro criterios: la conservación de los HC, la disminución de los impactos ambientales negativos por el uso de los combustibles fósiles, el combate al fenómeno del cambio climático, y la seguridad energética —de gran relevancia, especialmente en aquellas naciones dependientes del suministro externo de HC—.

Por lo anterior, actualmente, en la agenda internacional se ha retomado el concepto de EE bajo el nombre de 4E en la demanda energética; es decir, Eficiencia Eléctrica en los Equipos de Uso Final (Efficient Electrical End-Use Equipment). Dicho programa se considera fundamental, en virtud de que este energético secundario (la electricidad) es uno de los que tienen mayores tasas de crecimiento en los últimos años y se espera que continuará así en el futuro.

En el terreno de los estándares, hay un gran avance a nivel mundial que hace viable aplicarlos en aquellos países en donde la energía se usa de manera ineficiente. Entre los estándares aplicables que se pueden citar están: lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio, así como sus respectivas balastras; ventiladores de

techo; anuncios de salida; transformadores de distribución tipo seco de bajo voltaje; señalamientos de tráfico, como semáforos y señales para peatones; calentadores eléctricos; deshumidificadores; válvulas atomizadoras comerciales y sistemas de acondicionamiento de ambientes (aire acondicionado y de calentamiento); refrigeradores y congeladores comerciales y domésticos; hacedores de hielo; y lavadoras de ropa y platos.

Igualmente, las empresas de equipo industrial, electrónico y electrodoméstico siguen mejorando sus estándares de consumo de energía, incluyendo mecanismos para contrarrestar el consumo de los conocidos coloquialmente como “vampiros” (aparatos “en reserva”: el conocido “foco rojo” de televisores, teléfonos, computadoras, etc.), que se ha estimado consumen del orden de 3% de la demanda total anual.

Todo este conjunto de medidas para reducir el uso de los HC, tanto del lado de la oferta como del de la demanda, presentan además la mejor relación costo-beneficio a corto plazo. Esta búsqueda de la EE se extiende a todos los sectores intensivos en energía, que van desde el principal, el energético, hacia los de más alto índice de consumo, como son el del transporte y el industrial. En ellos se cuenta con un amplio conocimiento y experiencia sobre mejoras que han ido más allá de la simple eliminación de pérdidas, llegando en muchos casos al cambio tecnológico (por ejemplo, en la industria petroquímica, siderúrgica, cementera, etc., y en el transporte, con el aumento en el rendimiento de los automóviles).

Con el propósito de mantener esta dinámica y de no experimentar una vez más el estancamiento, ahora se toman

en cuenta a nivel mundial las diversas barreras que han enfrentado las medidas de EE, que incluyen: a) información inadecuada e incompleta sobre las oportunidades que ofrece la EE; b) falta de un marco regulatorio y de organizaciones promotoras; c) inapropiados incentivos para su fomento; d) ausencia de estándares en los equipos; e) gestores de la energía con bajos niveles profesionales; y f) carencia de programas dirigidos a la modificación de los valores culturales.

Se ha detectado que una de las razones de la debilidad regulatoria e institucional se debe a que estos aspectos deben construirse con base en consensos entre diversas fuerzas y actores, lo que no es una tarea fácil. De hecho, los negocios energéticos se contraponen al concepto de EE, pues su misión es la ganancia, misma que se logra con la maximización de las ventas de energía. Esto conlleva que los acuerdos a favor de la EE se dificulten; por ello, sólo en un contexto público integral del sector energético es posible facilitar la convergencia de ambos intereses: el abasto y el consumo de energía con máxima eficiencia.

Todo lo anterior ha llevado a que las empresas energéticas y sus reguladores en general (eléctricas en particular) converjan en el criterio de que “la EE es también una opción de suministro”. Esta noción se basa en el hecho de que la EE ha sido desde su “creación” un buen negocio, incluso para las compañías de abasto, dado que es una vía para minimizar las pérdidas de sus sistemas (tanto técnicas como no técnicas, robos principalmente). Además, en la mayoría de los casos en que se han implantado programas de este tipo, dichas corporaciones han recibido importantes beneficios económicos

de parte de los gobiernos, a lo que hay que sumar que muchas de las firmas oferentes de estos servicios de EE provienen o están asociadas con las propias sociedades de abastecimiento.

Por el lado de los consumidores, también se ha aprovechado la relación de las corporaciones con los usuarios, a los que se les informa sobre este tema y se les financia la adquisición o reemplazo de equipos que les permitan un ahorro sustancial en sus pagos por electricidad, derivado de un menor consumo por el incremento de la eficiencia.

Es relevante destacar que el mundo ha pasado ya por todas estas fases de preservación y ahorro de energía, aunque ha habido periodos en que se ha dado marcha atrás en estos avances, los cuales han estado relacionados con los lapsos de baja en los precios de los HC, momentos en que se disminuye o incluso se anula la rentabilidad de las inversiones en EE. En consecuencia, una de las vías para no perder los avances alcanzados debe ser la de informar, sensibilizar y aportar constantemente recomendaciones, a fin de estimular cambios en los consumidores; aunado a ello, se debe vincular la EE no sólo a aspectos económicos, sino también a los de conservación de recursos no renovables y, sobre todo, a los de tipo ambiental, dado que la EE impacta muy favorablemente en la reducción de los efectos adversos al ambiente por el uso de la energía.

La situación en México

En el país, la dependencia de los HC es inclusive mayor que a nivel mundial; de hecho, en el año 2011, 91.2% de la producción de energía primaria correspondió a estos combustibles (64.1% del petróleo, 24% del gas y 3.1% del carbón).

Debe subrayarse que no obstante que México, en su calidad de país exportador de petróleo, no sufrió los embates de precios de los choques petroleros, el tema de EE llegó al país casi simultáneamente que al resto del mundo. De esta forma, en 1975, la entonces Comisión de Energéticos de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (SEPAFIN) inició el estudio y la difusión de medidas de uso racional de la energía en la industria y el comercio. Sin embargo, estas acciones se frenaron debido a la creencia de que había grandes recursos de HC en México, con una alta disponibilidad nacional e internacional de estos energéticos, que se contraponían con los criterios de EE (AMC, 2010).

De acuerdo a la anterior referencia, la importancia de la EE resurge con fuerza hasta finales de la década de 1980, con la creación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), que entre sus primeros trabajos, en el marco de cooperación con la Comisión Europea, realizó el diagnóstico de las ramas industriales y energéticas más intensivas en energía. En ese mismo año se consolidó como organismo independiente el PAESE (Programa de Ahorro de Energía en el Sector Eléctrico, originado al interior de la CFE como PRONURE: Programa Nacional de Uso Racional de la Energía Eléctrica). Posteriormente, en 1990, se creó el FIDE (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica). Todos estos organismos tenían y tienen como misión promover la EE en los diferentes sectores consumidores.

Durante esta trayectoria institucional de ahorro energético se han hecho importantes logros, entre los que destacan el horario de verano, la implementación de normas técnicas, y el programa federal sobre inmuebles de la adminis-

tración pública (dirigido esencialmente a iluminación). También se han añadido programas institucionales (CFE, Pemex, LFC), sectoriales específicos (industria, doméstico, transporte, agropecuario) y estatales-municipales (iluminación pública y bombeo, entre los principales); otros han sido el programa de Hipotecas Verdes, la sustitución de equipos electrodomésticos para el ahorro de energía, especialmente de lámparas ineficientes y refrigeradores viejos, y el programa de Luz Sustentable.

Estas acciones se han realizado en cooperación interinstitucional o dentro de cada entidad abocada a la EE, y han recurrido a diversos mecanismos: información, capacitación, asistencia técnica, financiamiento (desde diagnósticos hasta la adquisición de equipos eficientes), normalización y reconocimientos (como el Premio Nacional de Ahorro de Energía Eléctrica). La situación actual es que en todas estas instituciones se han venido incorporando nuevos criterios asociados a la EE, como son los de transición energética (diversificación de la matriz de oferta). Dentro de este tema destaca el fomento a las energías alternativas (en particular las renovables) y los aspectos ambientales, incluyendo el cambio climático, así como la seguridad energética.

Igualmente, se cuenta con nuevas leyes y disposiciones vinculadas a éstas (como la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y su Reglamento, o la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética) con las cuales se busca reforzar las atribuciones y acciones que realizan la Sener-CONUEE-CFE, de promoción de EE y, como parte de esto, de la obligatoriedad que marcan las normas existentes en esta materia. En estos

ordenamientos se integran los conceptos de uso sostenible de la energía y se presentan los mecanismos para el logro de tales objetivos. De acuerdo con lo antes descrito, hay un importante avance en materia de EE en el país y las recientes disposiciones normativas tienden a enfatizar la importancia de este tema; sin embargo, aún hay varias barreras importantes para reducir el uso de los HC en México. Por esta razón, se considera indispensable que el uso de los subsidios se racionalice y enfoque a los sectores socioeconómicos que lo necesitan y que puedan hacer uso del subsidio para la compra de equipos de uso doméstico que aprovechen las ER o que sean más eficientes.

Asimismo, hay insuficiente información estadística sobre el uso final de la energía por sectores para delinear eficazmente programas y actividades de EE, además de que falta establecer estándares internacionales como referencia para la industria energética y manufacturera nacional, en aras de mejorar su competitividad, así como normatividades en las metodologías para realizar diagnósticos confiables de los usos de la energía. Sumándose a estos conflictos, no hay una política clara para promover el uso de materiales y equipos certificados que lleven al uso eficiente de la energía, necesarios para así impulsar el desarrollo tecnológico en la producción de equipos de alta eficiencia adaptados a las condiciones de operación en la República Mexicana, así como para desarrollar la normatividad de todos los equipos y dispositivos de uso final en todos los sectores, incluso los de importación.

En este contexto, debe reconocerse que no se ha avanzado tampoco en propiciar la vinculación entre gobierno, acade-

mía e industria en materia de EE, la cual es fundamental para impulsar la existencia de laboratorios de prueba y certificación de sistemas, equipos y dispositivos para el ahorro de energía, además de promover a una escala mayor la formación de profesionales especializados en las áreas de EE.

A nivel de política gubernamental, aún no se establece la EE como una prioridad nacional, pues no se ha llegado al establecimiento de la obligatoriedad para aplicar medidas de EE en el sector público en los tres niveles de gobierno, lo que llevaría consecuentemente al otorgamiento de una asignación mucho más elevada de recursos públicos, situación congruente con este reto nacional.

Hidrógeno

Como vector energético, el hidrógeno es un combustible con pocos impactos negativos al medio ambiente, que tiene también la ventaja de que puede ser abundante. Para fines energéticos, las aplicaciones

principales de este gas en estudio son la generación de electricidad y para accionar automóviles a través de dispositivos de conversión de energía, tales como las celdas de combustible.

El hidrógeno puede ser producido a través de una variedad de tecnologías que, de forma general, pueden agruparse en dos categorías: por reacciones químicas y por electrólisis. En la primera de ellas puede provenir de la termólisis del agua, la gasificación de carbón o de la biomasa, así como de la reformación con base en hidrocarburos. En su otra vertiente, en la segunda categoría, se obtiene hidrógeno por electricidad de origen renovable (por ejemplo, fotovoltaica, eoloelectrica, etc.), nuclear o fósil (carboeléctricas), para llevar a cabo la hidrólisis de la molécula del agua.

La mayoría del hidrógeno producido en el mundo se extrae de la reformación de hidrocarburos, principalmente del gas natural, y aunque proviene de un recurso fósil, su uso en celdas de combustible presenta menos emisiones por kWh genera-

Figura 28. Programa Luz Sustentable del gobierno mexicano (familias mexicanas de escasos recursos han sustituido 30 millones de focos por lámparas ahorradoras desde agosto de 2011)



Cambia tus viejos... por unos ahorradores

El Programa Luz Sustentable pretende familiarizar a los usuarios con tecnologías eficientes de iluminación y para facilitar la transición de focos incandescentes a lámparas ahorradoras.

Tú traes 4 
+ recibo de luz + identificación oficial

Tú recibes 4 
lámpara ahorradoras

* Una lámpara ahorradora dura aproximadamente 10 veces más
* Al usar lámparas ahorradoras ayuda a reducir la contaminación y cuidar el medio ambiente

Para mayor informes • 01 800 5589341 • www.luzsustentable.gob.mx

do, en comparación con la combustión directa del combustible original. Cabe recalcar que la producción de hidrógeno más conocida mediante fuentes de ER es a través de la electrólisis del agua.

La utilización del hidrógeno renovable para producción de electricidad sigue en el mundo en las etapas de I+D; de hecho, aunque ya hay algunos prototipos, no se cuenta con una central de generación comercial. Asimismo, la utilización como combustible promete ser una solución para disminuir emisiones de GEI y reducir los niveles de ruido. A la fecha, ya existen automóviles experimentales que consumen hidrógeno.

La situación en México

México cuenta con una red especializada de académicos e investigadores en el tema del hidrógeno y existe cada vez más interés por impulsar la I+D+i en este campo, desde su producción hasta su uso final en dispositivos de celdas de combustible (figura 29), llegando hasta la combustión del mismo. A pesar del creciente interés, la infraestructura para la I+D+i del hidrógeno en México es limitada, al igual que

la disponibilidad de recursos humanos en el sector.

Energía nuclear de fisión

Este tipo de energía se obtiene de las reacciones nucleares de fusión y fisión nuclear. En la fusión, dos núcleos atómicos muy ligeros se unen, en tanto que en la fisión, un núcleo atómico muy pesado es dividido cuando un neutrón con cierta energía lo golpea. En ambos procesos la masa de los reactivos es superior a la de los productos, por lo que se libera una gran cantidad de energía.

Hasta ahora, sólo la fisión ha sido desarrollada a nivel comercial, esencialmente para la generación de electricidad. Esta fuente de energía detuvo su crecimiento debido al paro de los programas nucleares en varios países, provocado fundamentalmente por dos razones: *a)* un encarecimiento de esta tecnología, producto de costos de producción no competitivos frente a otras formas de generar electricidad, como los ciclos combinados de gas natural, los cuales también debían incluir el costo de los sistemas de seguridad; y *b)* la politización de los movimientos an-

Figura 29. Vehículo “Nayaa” que opera con celdas que usan hidrógeno como combustible, prototipo del Instituto Politécnico Nacional, México, 2011



tinucleares, a raíz de los accidentes de Tres Millas (en EUA, 1979) y Chernóbil (en 1986, en la entonces Unión Soviética). Sin embargo, en los últimos 20 años esta tecnología ha proliferado, particularmente en países de la UE (como Francia), en EUA, Japón y Ucrania, entre otros.

El reciente accidente en la central nuclear de Fukushima, Japón, puso de nuevo en el ámbito mundial la preocupación por los accidentes nucleares y sus graves consecuencias. En 2011, la capacidad instalada con energía nuclear ascendía a los 369 GW, pero luego de los hechos ocurridos en Japón, se mostró un decremento de 7% con respecto a 2010. En este contexto, se estima que esta capacidad pudiera seguir en descenso, ya que el gobierno japonés, ante la crisis desencadenada en Fukushima, decidió abandonar la producción de energía nuclear y no construirá nuevos reactores. A esta posición se suman Alemania, Suiza y Bélgica, que anunciaron su renuncia a la producción eléctrica con energía nuclear. Francia expresó, poco después, que en 2016 cerrará Fessenheim, la central nuclear más antigua del país; al respecto, el actual presidente de Francia, François Hollande, ha expresado que su país reducirá su producción eléctrica proveniente de este recurso de 75 a 50% en 2025. La estrategia de estos países es aumentar en contrapartida la generación de energía proveniente de fuentes de ER. Finalmente, después de Fukushima, las centrales nucleares serán objeto de una mayor supervisión regulatoria, lo cual encarecerá aún más los costos de inversión de esta tecnología. A pesar de lo anterior, y por el impulso que estaba teniendo la energía nuclear a nivel mundial antes del accidente de Fukushima, a la fecha se encuentran 65 plantas nu-

cleares en construcción. Entre estas plantas se encuentra una en Olkiluoto, Finlandia, que inició su construcción en 2005 y que entró en operación en 2013; y la de Flamanville, Francia, que inició en 2007 y cuya operación ha sido reprogramada para 2014.

Algunos países han anunciado además la construcción de nuevas centrales nucleares, como Finlandia, que acaba de aprobar la construcción de una nueva planta nuclear en Pyhäjoki; también Bulgaria aprobó construir una nueva planta nuclear en Kozloduy; y los Emiratos Árabes licitaron en 2013 la construcción de cuatro nuevas centrales nucleares.

La I+D+i en energía nuclear de fusión se centra en tres temas fundamentales: 1) continuar la evolución de los reactores y de los ciclos de combustible; 2) el tratamiento de los desechos radioactivos; y 3) un mayor soporte para la operación segura de las centrales nucleares.

Finalmente, puede mencionarse que la Agencia Internacional de Energía considera, en estudios prospectivos, que la energía nuclear desempeñará un papel importante en el periodo de transición energética hacia un modelo energético mundial sustentable.

La situación en México

El país tiene como principal instalación a la Central Nuclear de Laguna Verde (CNLV) de la CFE, que tiene una capacidad instalada de 1 610 MW, repartida en sus dos unidades generadoras de 805 MW eléctricos cada una. La CNLV está situada en el estado de Veracruz. La unidad 1 de la CNLV empezó su operación comercial en julio de 1990, mientras que la unidad 2 entró en operación comercial en abril de 1995 (figura 30).

Figura 30. Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde, CFE, Veracruz, México



En el país, además de las actividades de generación nucleoeléctrica que realiza la CFE en la CNLV, en el campo nuclear se llevan a cabo actividades de I+D en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Estas actividades son reguladas por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) y están enfocadas en la investigación sobre confiabilidad y seguridad en plantas nucleares, en el IIE, así como en las actividades de formación de recursos humanos e investigación en varias instituciones de educación superior, como la UNAM y el IPN.

El ININ cuenta con un reactor nuclear de fisión para investigación experimental (figura 31). Allí se realizan investigaciones

en modelación de física de reactores, partículas de alta energía y su interacción con la materia; también se estudia la verificación y validación de *software*, sobre todo en su aplicación en la optimización de combustible nuclear. Además se trabaja en modelos de simulación de reactores avanzados; aspectos transitorios operacionales y de análisis de estabilidad; prevención de errores humanos; incorporación de criterios de riesgo en las actividades del regulador; acondicionamiento de combustible irradiado; análisis teórico del reciclado de actínidos; y la aplicación de los estándares y las normas internacionales.

Adicionalmente a las actividades anteriormente mencionadas, el ININ parti-

Figura 31. Reactor nuclear de fisión para investigación TRIGA Mark III, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Estado de México



cipa en el desarrollo de varios materiales con diversas aplicaciones, como son radiofármacos para la medicina nuclear y radio-trazadores para la detección de fugas. Asimismo, se trabaja en la generación de nuevas variedades agrícolas por medio de mutagénesis, a las cuales se agregan las aplicaciones de preservación y tratamiento de variedades agrícolas.

Energía nuclear de fusión

La fusión nuclear consiste en unir núcleos ligeros, de modo que la suma de las masas de los núcleos resultantes sea menor que la de los originales. En el Sol y las estrellas, por ejemplo, se realiza este proceso.

La fusión sólo puede darse en condiciones de temperatura y densidad muy elevadas, las cuales permiten vencer la fuerza de repulsión entre los núcleos. Normalmente se presenta con los compuestos en estado de plasma, es decir, cuando los electrones se han separado del núcleo. El conocimiento y manejo del plasma es uno de los principales desafíos de la fusión nuclear (AMC, 2010).

La energía nuclear de fusión se encuentra aún en investigación. Si bien en la actualidad no se puede prever cuándo se tendrá una central de energía basada en este concepto, en este momento, en el año 2013, existe una inversión considerable para su investigación por parte de los países industrializados, así como de economías emergentes (como Brasil, China, Corea del Sur e India), debido a que se le vislumbra como una solución energética a largo plazo, a partir de la cual se podrá aprovechar la abundancia de su combustible principal: el deuterio, isótopo natural del hidrógeno, presente en el agua de mar; también se considera emplear el litio, abundante en la corteza terrestre (AMC, 2010).

La situación en México

Actualmente, existen muy pocos investigadores interesados en el tema de la fusión nuclear en el país. Las principales actividades se desarrollan en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, en el ININ y en el Centro de Investigación en Ciencia

Figura 32. Reactor nuclear de fusión experimental Tokamak, Instituto de Ciencias Físicas, Hefei, China



Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional en Querétaro. Los trabajos realizados en estas instituciones colocan a México como un país con capacidad de hacer aportaciones científicas en este campo (AMC, 2010).

Captura y secuestro de carbono

La tecnología de captura, transporte y almacenamiento de carbono (CCS, por sus siglas en inglés) tiene como principal propósito reducir o eliminar las emisiones de CO₂ que resultan de la combustión de recursos fósiles. Este objetivo se logrará atrapando este gas de efecto invernadero a través de sistemas de captura, de transporte y de confinamiento permanentemente en estructuras geológicas adecuadas, en donde el CO₂ estará aislado de la atmósfera y los mantos acuíferos.

Dentro de los métodos de captura del CO₂, se han propuesto sistemas que pueden clasificarse en: *a)* posteriores a la combustión; *b)* previos a la combustión; y *c)* por combustión oxígeno-gas. Los dos primeros sistemas se consideran viables para reducir emisiones de CO₂ entre 85 y 95% en centrales termoeléctricas, pero su incorporación requiere de entre 10 y 40% de energía adicional, afectando de esta manera los costos unitarios de generación en las termoeléctricas. La última aún se encuentra en fase de demostración.

En la fase de transporte, se considera que la compresión del CO₂ sería muy útil para hacer viable el uso de ductos, camiones, cisternas y buques, dependiendo de la distancia (aunque el uso de barcos requiere la licuefacción del CO₂ y funcionaría bajo condiciones limitadas de mercado). Finalmente, para el almacenamiento de este gas se ha considerado que las formaciones geológicas profundas (más de

800 metros de profundidad) son los sitios ideales para el secuestro permanente de CO₂, como pueden ser los acuíferos salinos profundos, campos maduros y abandonados de petróleo y gas, minas de carbón no explotables, y campos petroleros en donde se pueda practicar la recuperación mejorada por inyección de CO₂ (IPCC, 2005).

La tecnología de CCS se encuentra en desarrollo y en fase demostrativa. Existe aún incertidumbre en la etapa de almacenamiento para secuestrar permanentemente el CO₂, ya que su buen funcionamiento depende de las características de las cavidades geológicas (sellado, permeabilidad, sismicidad, etc.), por lo que aún se estudia el comportamiento del CO₂ bajo tierra.

La incorporación de la tecnología de CCS representará costos adicionales para la producción de electricidad de las centrales termoeléctricas convencionales. Se estima que la captura costaría entre 5 y 115 \$/tonCO₂, mientras que el transporte, entre 1 y 8 \$/tonCO₂, y el almacenamiento, de 0.5 a 8 \$/tonCO₂.

Se considera que la modalidad más competitiva sería la que tuviera como almacenamiento geológico la inyección de CO₂ en campos petroleros para la recuperación mejorada, puesto que habría ingresos mayores por el petróleo adicional que se obtendría, lo que mejoraría el flujo de caja del proyecto de CCS. Por último, debe mencionarse que la incorporación de CCS aumenta también sensiblemente el costo de inversión por MW de dichas centrales (IPCC, 2005).

A principios de la década de 2010, a nivel mundial existen cuatro proyectos de CCS operando a gran escala para secuestrar permanentemente el CO₂ (más de

1 MtonCO₂ al año) en EUA, Canadá, Noruega y Argelia. Sumado a ello, la tecnología de CCS es objeto de investigación y de demostración en algunos países, como Reino Unido, Australia (país que creó el Instituto Global de CCS para promover la cooperación internacional), China, Italia, Francia y Emiratos Árabes Unidos. Se estima que a nivel mundial hay una lista de 117 propuestas de proyectos de CCS.

La situación en México

En la nación se está trabajando en la elaboración de un atlas de almacenamiento de CO₂ en el marco de un proyecto internacional con Canadá y Estados Unidos. Las instituciones mexicanas que han trabajado en este tema son: Sener, IIE, IMP, CFE, Servicio Geológico Mexicano, UNAM y Pemex. Esta última empresa ha empezado a hacer pruebas experimentales para separar el gas natural, el petróleo y el CO₂

proveniente de los campos de producción de Artesa y de Sitio Grande, para posteriormente inyectar el CO₂ para la producción mejorada de hidrocarburos.

Actualmente, se encuentra en diseño una prueba piloto para inyectar CO₂ proveniente del complejo petroquímico de Cosoleacaque en el campo petrolero Ogarrio. Dicho proyecto está financiado por el Fondo de Hidrocarburos Pemex/Conacyt. También se está analizando la viabilidad técnica y económica de la inyección masiva de CO₂ en el campo petrolero Coyotes y otros campos aledaños. Para cerrar con el tema, desde el año 2009, el Centro Mario Molina y la CFE están desarrollando un proyecto demostrativo para aplicar la tecnología de CCS en la termoeléctrica de Tuxpan, y así inyectar el CO₂ para la recuperación mejorada de petróleo en algún campo petrolero del Activo Integral Aceite Terciario del Golfo. ☉

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS Y SOLUCIONES. RUTAS DE ACCIÓN

En este apartado se presentan algunas alternativas en cuanto a las EA en México, expresadas por académicos, investigadores e instituciones, así como otros expertos en el tema. Tales propuestas son derivadas de las reuniones, foros y congresos mencionados al comienzo de este documento. De manera general, entre las alternativas y rutas de acción para aumentar el uso de EA en el tránsito hacia un sistema energético sustentable, están las siguientes:

- El uso de subsidios para la promoción de las fuentes de ER y los programas de EE.
- La inclusión de externalidades en la evaluación de las opciones para producir energía, particularmente las ambientales y aquellas que provocan daños a la salud.
- La formación de recursos humanos especializados en las áreas de las EA.
- La consecución de recursos económicos y materiales suficientes para I+D+i, los cuales se enfoquen en innovación, creación de patentes, desarrollo de programas computacionales especializados, desarrollo de proyectos piloto y su escalamiento a nivel industrial.
- Desarrollo de estrategias y mecanismos de financiamiento con recursos nacionales e internacionales.
- Información y difusión de las ventajas y desventajas del uso de las EA.
- Creación de redes para la investigación y el desarrollo en EA.
- Normalización, reglamentación, monitoreo, verificación, certificación y desarrollo de instrumentos legales suficientes para lograr un buen desempeño de las EA.
- Priorización de las EA en la agenda de energía del gobierno.

- Valoración de las ventajas de las fuentes de EA en cuanto a precios de la energía a largo plazo y la reducción de los riesgos en el abastecimiento.
- La creación de más instituciones de I+D, con un incremento sustancial de los puestos de trabajo.

Las alternativas o soluciones se han establecido, al igual que en el apartado anterior, de acuerdo al tipo de fuentes de EA (AMC, 2010). A continuación se mencionan las principales:

Energía fotovoltaica

Las rutas de acción que se proponen para los sistemas FV son:

- Evaluación del recurso solar y elaboración de mapa solar.
- Elaboración de un inventario nacional, bases de datos de su desempeño y mantenimiento de los sistemas FV.
- Elaboración de estudios para el establecimiento de la cadena productiva de los sistemas FV.
- I+D para nuevas celdas solares y otros componentes de sistemas FV en los laboratorios nacionales.
- Diseño y construcción de sistemas FV de mediana y gran potencia para diversas aplicaciones.
- Desarrollo de normas, certificación y programas de capacitación para la implementación, adaptación y adopción de los sistemas FV en los diversos sectores sociales (AMC, 2010).

Energía solar térmica de baja temperatura

Las rutas de acción específicas para la ESBT comienzan con una línea principal; esto es, con el desarrollo de una base de datos de las condiciones climáticas del país para, de este modo, hacer los cálculos de sistemas solares. Además, se proponen las acciones siguientes:

- I+D+i en: *a)* sistemas avanzados de automatización y control; *b)* colectores solares de baja temperatura; *c)* nuevos materiales aplicados en la fabricación de captadores solares de baja temperatura; *d)* equipos de calentamiento solar para aplicaciones específicas, como refrigeración, secado y desalinización.
- Diseño de programas de información y difusión sobre el funcionamiento, mantenimiento y beneficios de esta tecnología, dirigidos particularmente a los usuarios.
- Capacitación técnica de los comercializadores e instaladores de esta tecnología. Sumado a ello, es necesario crear un programa de certificación para los instaladores, para el mantenimiento e ingenierías, para así garantizar la calidad de los equipos de ESBT.

Energía solar de media y alta temperatura

En cuanto a la ESMT y ESAT, las rutas de acción se concentran en investigación básica y aplicada, así como en desarrollo tecnológico:

- Trabajar en diseños, materiales y métodos de fabricación de los concen-

tradores de foco lineal (cilíndricos y de fresnel) y de foco puntual (disco-Stirling y receptor central) para las CSP, que abaraten los costos de inversión y mantenimiento.

- Mejorar los materiales, dispositivos y métodos de fabricación del almacenamiento térmico, y también de reflectores y absorbedores.
- Identificar, caracterizar y analizar los procesos industriales susceptibles de acoplarse con colectores solares confiables y eficientes.
- Desarrollar plantas experimentales y demostrativas de las diferentes tecnologías de ESMT y ESAT, las cuales validen la tecnología existente, desarrollen nuevos métodos, establezcan la vinculación entre estas tecnologías y el sector industrial, y formen recursos humanos especializados.
- Desarrollo de receptores/reactores para sistemas de alta concentración.

Bioenergía

- La bioenergía requiere completar con más precisión la evaluación del recurso potencial existente en el país, así como reforzar las líneas de I+D+i relacionadas con el estudio de la sostenibilidad de los biocombustibles, las consideraciones sociales y ambientales de dichos proyectos (AMC, 2010).
- Asimismo, es de fundamental importancia la I+D en procesos que maximicen la producción de biomasa y biocombustibles (etanol, biodiesel, biogás, carbón vegetal), con equipos y

materiales. Entre los ejemplos de estos últimos están la peletización de la biomasa; la co-combustión de biomasa; los biodigestores de bajo costo; los quemadores de pellets; el biogás a partir de vinazas; la producción de etanol con materiales lignocelulósicos; la selección de especies y variedades nacionales para la producción sustentable de biodiesel y etanol; la tecnología para el manejo sustentable de bosques y selvas; los sistemas logísticos óptimos de recolección y traslado de residuos de biomasa; las biorrefinerías; y los sistemas de producción de biocombustibles a partir de algas.

- También se vislumbran como rutas de acción para la bioenergía a la creación de modelos de producción y otros servicios ambientales, tomando en cuenta el manejo ecológico de bosques y selvas, así como a los modelos de evaluación energética, económica y ambiental de cultivos y plantaciones.

Energía eólica

Las rutas de acción consideradas para la energía eólica, fuente de ER de mayor presencia en el país, buscan primordialmente el desarrollo de una industria eólica sólida y competitiva, para así lograr una posición de vanguardia mundial en este terreno.

De manera específica, se proponen las siguientes rutas:

- Elaborar un programa de asimilación de tecnología.
- Impulsar proyectos industriales para el desarrollo de turbinas eólicas de

pequeña y mediana capacidad para atender los nichos de mercado existentes.

- Fomentar y desarrollar la capacidad industrial, a fin de contar con una industria nacional sólida y competitiva, a través de la cual se puedan fabricar aerogeneradores, subsistemas y componentes, con la consecuente creación de empleos, aprovechando el interés de los inversionistas para conformar una industria eoloelectrónica nacional.
- Estructurar una base de datos del recurso eólico de alta confiabilidad.
- Desarrollar modelos prospectivos de la variabilidad del recurso.
- I+D+i en trenes de potencia, pequeños aerogeneradores, rotores y aspas de diseños avanzados, autodiagnóstico de fallas, cimentaciones y torres, además de la mejoría de equipos expuestos a condiciones extremas.
- Informar y difundir los beneficios ambientales de la electricidad proveniente de recursos eólicos.
- Realizar estudios sobre los impactos sociales y ambientales del desarrollo eólico nacional.

Geotermia

Para un mayor aprovechamiento de la energía geotérmica, se plantean las siguientes líneas de acción:

- Evaluar el recurso aprovechable a escala nacional, caracterizando los ambientes tectónicos en los que pueden

existir recursos geotérmicos aprovechables.

- Desarrollar nuevos métodos de exploración, así como formar investigadores dedicados a éstos.
- I+D+i en equipos de superficie, perforación y construcción de pozos.
- Impulsar la aplicación de la geotermia en bombas de calor.
- Educar e informar a la población sobre los beneficios directos de la energía geotérmica.

En cuanto a las rutas de acción en I+D para reducir el impacto ambiental del aprovechamiento de la energía geotérmica, se tienen:

- Explotar la extracción de minerales como política adicional de fluidos residuales.
- Remover contaminantes y desarrollar técnicas de remediación en la exploración y explotación geotérmica.

Energía hidráulica a pequeña escala

La primera línea de acción, expresada para el aprovechamiento del recurso hidráulico a pequeña escala, consiste en una demanda repetitiva en cada una de las fuentes de ER en cuanto a la evaluación del recurso hidráulico en todo el país.

Se proponen a continuación las siguientes acciones:

- Establecer programas específicos para plantas hidráulicas de pequeña escala, los cuales incluyan desde diseño y

manufactura de equipos hasta la instalación, operación y mantenimiento de estos sistemas.

- Definir programas de I+D en estrategias de control de flujo, nuevos materiales y mejora de los diseños de la planta y de las turbinas, para así disminuir la concentración de la fauna acuática.

Energía oceánica

Las rutas de acción, al igual que en todas las fuentes de ER, comienzan con la evaluación del recurso y con el avance del conocimiento de las diferentes formas de aprovechar la energía del océano, a fin de poder definir una estrategia de desarrollo específica para esta fuente de ER (AMC, 2010).

También es necesario en cuanto a IyDT:

- Fortalecer los grupos de investigación existentes.
- Incursionar en las distintas tecnologías de aprovechamiento de esta fuente de energía.
- Realizar evaluaciones de impacto ambiental en las zonas de aprovechamiento de la energía oceánica.

Energía en edificaciones

En cuanto a la energía en edificaciones, se proponen acciones para la apropiación, el fortalecimiento y desarrollo del área en el ámbito nacional, específicamente las siguientes:

- Complementar la normatividad nacional para la evaluación energética y

certificación de las edificaciones mediante normas de aplicación obligatoria, así como mecanismos para su implementación y certificación, en el proceso tanto constructivo como de comercialización en edificaciones (no sólo residenciales sino también comerciales, industriales y de servicios).

- Establecer estrategias de diseño de edificaciones de bajo consumo de energía.
- Definir parámetros para sistemas de acondicionamiento ambiental y de iluminación artificial para la comodidad visual.
- Desarrollar y diseñar nuevos materiales para edificaciones que reduzcan el uso de recursos naturales no renovables, el consumo de energía y los efectos negativos en el ambiente, tanto en el proceso de producción como en su ciclo de vida.
- Elaborar y diseñar normas y procesos de certificación, tanto voluntarios como obligatorios, para materiales de construcción, ya sean éstos nuevos o reciclados.
- En I+D se proponen las siguientes rutas de acción:
 - Aumentar las alternativas de financiamiento a proyectos prioritarios.
 - Hacer proyectos demostrativos en las diferentes regiones del país.
 - Fomentar programas de transferencia de tecnología con la industria de la construcción.

- Mejorar los mecanismos de vinculación de la academia con sectores productores y usuarios de energía.
- Desarrollar nuevas metodologías constructivas.
- Reforzar la investigación y aplicación del diseño bioclimático en la construcción.

A manera de síntesis, la ruta fundamental de acción será: 1) buscar que los edificios tengan la capacidad técnica de abastecerse y almacenar energía de fuentes naturales para poder usarla según sus necesidades, y 2) favorecer la proyección de edificaciones con demandas energéticas menores. Esto puede lograrse mediante el uso del diseño bioclimático.

Eficiencia energética en el uso de los hidrocarburos

Las rutas de acción para una aplicación masiva y de mayor impacto de los programas de EE son:

- Realizar estudios sobre el uso final de la energía en los sectores.
- Formar especialistas en EE.
- Crear una normatividad en las metodologías, para así realizar diagnósticos confiables de los usos de la energía.
- Desarrollar las normas de EE en equipos y dispositivos en todos los sectores. También se aplicarán sobre los equipos de importación.

- Fomentar la vinculación entre el gobierno, la academia y la industria en materia de EE.
- Establecer la obligatoriedad de aplicar medidas de EE en el sector público, en los tres niveles de gobierno.
- Establecer la EE como una prioridad en la estrategia gubernamental de energía, lo cual lleve, en consecuencia, a una asignación de recursos públicos más óptima.
- Impulsar el desarrollo tecnológico para producir equipos de alta eficiencia, adaptados a las condiciones de operación en el país.
- Promover la información específica y certificada sobre materiales y equipos que lleven al uso eficiente de la energía.
- Establecer estándares internacionales como referencia para la industria energética y manufacturera nacional, en aras de mejorar su competitividad.

Hidrógeno

En cuanto a la energía proveniente del hidrógeno, se proponen como rutas de acción los siguientes proyectos:

- Impulsar una ciencia aplicada para el desarrollo de materiales y componentes: electrocatalizadores, electrolitos para celdas de combustible, catalizadores para producción de hidrógeno (a partir de insumos orgánicos renovables) y placas bipolares.
- I+D+i en conversión térmica de biomasa, ciclos termoquímicos con energía

solar concentrada, celdas de combustible, motores de combustión interna a hidrógeno, catalizadores para reformación y microrreformación, absorbentes y otros sistemas de almacenamiento de hidrógeno.

- Formación de redes de investigación.
- Buscar la especialización de profesionales y la formación de nuevos recursos humanos en el tema.

Energía nuclear de fisión

Las rutas de acción para la energía nuclear de fisión están abocadas en su mayoría a I+D, en donde se observan temas como física de reactores; materiales, diseño y optimización de combustible; ciclos de combustible avanzados; exploración y explotación de uranio; fraccionamiento y trasmutación; y protección radiológica.

También se consideran I+D referentes a la seguridad de reactores, procesamiento y acondicionamiento de residuos radiactivos, disposición final de residuos de mediano y bajo nivel, y de la cantidad de combustible gastado.

Asimismo, se propone como estrategia el monitoreo ambiental marítimo, para conocer en tiempo real los cambios en la dirección y velocidad de las corrientes frente a las plantas nucleares, así como las afectaciones de la flora y la fauna alrededor de la central.

Energía nuclear de fusión

Con objeto de promover la I+D en fusión nuclear en el país, se plantean las siguientes acciones:

- Diseñar y construir un reactor de tamaño pequeño. La construcción de un

equipo de esta naturaleza permitirá explorar nuevos regímenes de plasma y verificar la validez de sus códigos, generando sinergia entre el modelado computacional y los resultados experimentales.

- Promover la consolidación de la comunidad científica nacional en el tema.
- Definir los objetivos científico-tecnológicos, preferentemente enfocados a abordar problemas aún no resueltos, consiguiendo de esta manera una contribución relevante en este campo.
- I+D en comportamiento de plasmas, sistemas electromagnéticos pulsados de alta potencia basados en conductores convencionales, superconductores de baja y alta temperatura, diseño mecánico y análisis estructural de esfuerzos, y en sistemas de control de potencia.

Captura y secuestro de carbono (ccs)

Entre las propuestas en este rubro se encuentran:

- Terminar el *Atlas Nacional Geológico* para el almacenamiento del carbono y el *Atlas Nacional de CO₂*.
- Estudiar científicamente las implicaciones y las tecnologías de CCS en el largo plazo, para así determinar la permanencia del CO₂, así como realizar la verificación y el monitoreo correspondiente, incluyendo del impacto ambiental.
- Fortalecer las capacidades nacionales de IyDT, la infraestructura de labo-

ratorios, la planeación, el monitoreo, la verificación y la regulación para la eventual aplicación de las tecnologías de CCS.

- Iniciar la formación de recursos humanos técnicos, de ingeniería y de investigación que requiere el uso de las tecnologías de CCS.
- Aumentar los proyectos demostrativos de CCS en nuestro país. Simultáneamente, estudiar también los esquemas que eventualmente los podrían hacer viables desde el punto de vista económico.
- Establecer alianzas que coadyuven a la transferencia tecnológica de CCS hacia México. 🕒

PROPUESTAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS ASOCIADAS A LA CONSTRUCCIÓN DE LAS SOLUCIONES IDENTIFICADAS

Para impulsar la política pública hacia una transición energética en la cual la EE sea una prioridad en todos los sectores del país, fortaleciendo el uso de las fuentes de EA (especialmente de ER) y CCS para sustentar la mayoría del consumo de energía, se parte de nueve premisas fundamentales:

- 1.** Mejorar la EE en tecnologías y procesos en toda la cadena de la energía: producción, transporte, transformación, abastecimiento y consumo.
- 2.** Apoyar la investigación, el desarrollo y la innovación en tecnologías de fuentes de EA, especialmente de ER, EE y CCS.
- 3.** Educar e informar a la población en EE y en el aprovechamiento de EA, especialmente de ER.
- 4.** Realizar estudios de patrones de conductas en consumo energético en todos los sectores productivos, con la intención principal de proponer un cambio en los hábitos de consumo.
- 5.** Apoyar la investigación para el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento de EA, especialmente de ER, tanto en la generación de energía como en la producción de calor en todos los sectores.
- 6.** Eficientar, abaratar y subsidiar tecnologías de aprovechamiento de EA, para que toda la población pueda tener acceso a ellas.
- 7.** Proponer que para el mediano plazo (2030), al menos 30% de la energía de uso final provenga de fuentes de EA, especialmente de ER.
- 8.** Promover y desarrollar una cultura consciente de las consecuencias ambientales del uso de la energía.

9. Impulsar la formación de recursos humanos especializados tanto en EE como en EA, especialmente en ER y CCS.

En este mismo contexto, es importante consolidar la planeación y el establecimiento de estrategias de política energética en el corto plazo dirigidas a:

- Que los energéticos convencionales muestren el costo real y el subsidio otorgado, incluidas las externalidades ambientales.
- Un mayor financiamiento para el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación en EE y EA, especialmente ER y CCS.
- Aumentar el porcentaje del impuesto sobre la renta en la ley en materia de derechos de HC, aunado al incremento del financiamiento para el desarrollo en EA, especialmente de ER.
- Crear propuestas de programas de inversión en uso y aprovechamiento de las ER, dirigidas al gobierno e instituciones financieras, resaltando los beneficios sociales, ambientales y los ahorros que se lograrán.
- Crear núcleos regionales académicos para proponer proyectos específicos a los sectores industrial y gubernamental.
- Creación de instrumentos económicos para la promoción de tecnologías de EE y de fuentes de ER.
- Formación de capital humano en EE y EA, especialmente en ER y CCS.

- Apoyo a la vinculación de la academia, la industria, la sociedad y el gobierno, tomando como ruta de acción estratégica la creación de una iniciativa nacional para la coordinación entre pequeñas y medianas empresas, los gobiernos estatales y municipales, así como organizaciones sociales, universidades y centros de investigación.

- Identificar recursos renovables por región y realizar acciones asesoradas por la academia, las cuales serán dirigidas por el gobierno con el fin de explotarlos.
- Difusión de las tecnologías en EE y EA, especialmente ER y CCS.

A mediano y largo plazo:

- Establecer una Comisión Nacional de Energías Renovables.
- Creación de industrias productivas nacionales en la cadena de las ER, dando preferencia y facilidades a la industria mexicana.
- Establecimiento de un programa de incentivos de uso de ER y EE, por sector y tecnología.
- Voluntad política para que se desarrolle tecnología nacional y se reduzca la fuerte dependencia tecnológica del exterior.
- Promover, en la ley de vivienda, los sistemas solares de calentamiento de agua, los sistemas FV y la arquitectura bioclimática, con equipos y sistemas normalizados.

- Crear modelos de EE en la academia, con el fin de transferirlos a la industria privada y al gobierno.
- Crear el Instituto Nacional de Energías Renovables para fortalecer y coordinar los esfuerzos de IyDT en el país.

ESTIMADO PRESUPUESTAL

La realización de estas políticas públicas tiene como centro el robustecimiento de la investigación y desarrollo tecnológico y la innovación (I+D+i) en EA, especialmente de ER y EE, así como la correspondiente formación de recursos humanos para realizar estas actividades. Actualmente, el principal fondo público de I+D+i de las EA lo constituye el Fondo de Sustentabilidad Energética, el cual aporta por ley aproximadamente 210 millones de pesos anuales de financiamiento público para estas actividades de I+D+i.

Para fortalecer la I+D+i en EA, especialmente de ER y EE, es necesario en el corto plazo multiplicar el actual presupuesto a la I+D+i de las EA por un factor de 5, para alcanzar un total de aproximadamente 1 000 millones de pesos anualmente. De esta manera, México estaría haciendo un esfuerzo equivalente al que realiza hoy en día Brasil sólo en el financiamiento de la I+D+i de las ER, cuyo presupuesto representa aproximadamente 0.01% de su Producto Interno Bruto (cifra obtenida por cálculos propios con datos de UNEP, 2012 y WB, 2013).

En el mediano y largo plazo, México debe proponerse alcanzar los niveles de financiamiento de I+D+i sólo en ER de los países líderes en esta materia; a saber, China, Unión Europea y Estados Unidos, cuyos fondos equivalen a 0.02-0.03% de sus correspondientes PIB (cifra establecida por cálculos propios con datos de UNEP, 2012 y WB, 2013), para desarrollar plenamente las actividades de I+D+i que vislumbra este libro. A los niveles actuales de nuestro PIB nacional, esto equivaldría a multiplicar por un factor de 10 el actual presupuesto de I+D+i para las EA, especialmente en ER y EE, para así alcanzar un total de aproximadamente 2 000 millones de pesos anualmente.

Por último, en términos de implementación de las EA, especialmente de EE y ER, este documento destaca que, en términos de política pública, una propuesta esencial para impulsar el uso masivo de estas fuentes limpias y sustentables es:

- Proponer que para el mediano plazo (2030) al menos 30% de la energía de uso final provenga de fuentes de EA, especialmente de ER.

Para alcanzar este objetivo, se propone que el Fondo de Transición Energética, que nació con un presupuesto de 3 000 millones de pesos anuales para los años 2009, 2010 y 2011 (0.03% del PIB), de acuerdo con la LAERFTE, se mantenga en el corto plazo con ese mismo

presupuesto en pesos del año 2009 y se incremente en el mediano plazo a 0.06% del PIB (aproximadamente 6 000 millones de pesos del año 2009), y en el largo plazo a 0.1% del PIB (aproximadamente 10 000 millones de pesos del año 2009), para lograr los niveles relativos de promoción de las EA de los países líderes en la transición energética, como Alemania.

Este incremento en el corto y largo plazo del financiamiento de la I+D+i

de las EA (especialmente de ER y EE) y del fomento de su uso masivo, sumado a la correspondiente formación de recursos humanos, convertirían a México en pocos años, sin lugar a dudas, en un país líder en la I+D+i, con una industrialización y un uso a gran escala de las energías sustentables, acelerando, de esta manera, la transición energética hacia un patrón de producción y consumo energético limpio y sustentable.

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS

AIE	Agencia Internacional de la Energía
AMC	Academia Mexicana de Ciencias
AUEE	Ahorro y uso eficiente de la energía
CCS	Carbon capture and storage (captura y secuestro de carbono)
CIATEQ	Centro de Tecnología Avanzada
CIGS	Cobre-indio-galio-selenio
CINVESTAV-IPN	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CNER	Comisión Nacional de las Energías Renovables
CNLV	Central Nuclear Laguna Verde
CNSNS	Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias
CO ₂	Dióxido de carbono
Conacyt	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CPH	Campo de Pruebas de Helióstatos
CSP	Concentrated Solar Power
DG	Demanda global
DOE	Department of Energy
DOF	Diario Oficial de la Federación
EA	Energías alternativas
EE	Eficiencia energética
EIA	Energy Information Administration
EJ	Exajoules
EN	Energía nuclear
ENE	Estrategia Nacional de Energía
ER	Energías renovables
ESAT	Energía solar térmica de alta temperatura
ESBT	Energía solar térmica de baja temperatura

ESMT	Energía solar térmica de media temperatura
ETC	Evacuated Tube Colector
EUA	Estados Unidos de América
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
FPC	Flat Plate Colector
FV	Fotovoltaico
GEI	Gases de efecto invernadero
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt hora
GWt	Gigawatt térmico
HC	Hidrocarburos
HoSIER	Horno Solar de Alto Flujo Radiativo
ICML	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
I+D	Investigación y Desarrollo
I+D+i	Investigación, Desarrollo e innovación
IER	Instituto de Energías Renovables, UNAM
II	Instituto de Ingeniería, UNAM
IIE	Instituto de Investigaciones Eléctricas
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INER	Instituto Nacional de Energías Renovables
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
IPN	Instituto Politécnico Nacional
ITC	International Training Centre
IyDT	Investigación y Desarrollo Tecnológico
km	Kilómetros
kW	Kilowatt
kWe	Kilowatt eléctrico
kWh	Kilowatt hora
kWp	Kilowatt pico
kWt	Kilowatt térmico
LACYQS	Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar
LAERFTE	Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
LFC	Luz y Fuerza del Centro
LIPC	Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros
MJ	Megajoule
Mton	Millones de toneladas
MW	Megawatt

MWe	Megawatt eléctrico
MWp	Megawatt pico
MWt	Megawatt térmico
NMX-ES-001-NORMEX-2005	Norma mexicana. Rendimiento térmico y eficiencia de colectores solares para calentamiento de agua. Métodos de prueba y etiquetado
NMX-ES-004-NORMEX	Norma mexicana. Energía solar, evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua. Método de prueba
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PAESE	Programa de Ahorro de Energía en el Sector Eléctrico
PEAER	Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
Pemex	Petróleos Mexicanos
PIB	Producto Interno Bruto
PJ	Petajoule
PRONURE	Programa Nacional de Uso Racional de la Energía Eléctrica
Sagarpa	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEGS	Solar Energy Generating Systems
Sener	Secretaría de Energía
SEPAFIN	Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial
Si	Silicio
TJ	Terajoule
TWh	Terawatt hora
UE	Unión Europea
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNDP/GEF	United Nations Development Program/Global Environment Facility
UNISON	Universidad de Sonora

BIBLIOGRAFÍA

- AMC (2010), *Energías alternas: propuesta de investigación y desarrollo tecnológico para México*, Academia Mexicana de Ciencias. Disponible en: [http://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/energias_alternas.pdf]. Consultado el 14 de agosto de 2013.
- BP (2011), "Energy Outlook 2030", *British Petroleum*. Disponible en: [http://www.bp.com/liveweassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2010_downloads/2030_energy_outlook_booklet.pdf]. Consultado el 14 de agosto de 2013.
- CFE (2012), *Programa de obras e inversiones del sector eléctrico 2012-2026*, México, Comisión Federal de Electricidad.
- DOF (2008), "Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética", *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2008a), "Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos", *Diario Oficial de la Federación*.
- Huacuz, Jorge M. (2010), "La energía del viento, ¿cómo aprovechas su valor?", *Ciencia y Desarrollo*, febrero de 2010, pp. 36-50.
- IPCC (2005), *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. Disponible en: [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf]. Consultado el 14 de agosto de 2013.
- REN21 (2012), *Renewables 2012 Global Status Report*, París, REN21 Secretariat, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Disponible en: [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf]. Consultado el 14 de agosto de 2013.
- Sener (2010), *Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025*, Secretaría de Energía. Disponible en: [http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf]. Consultado el 14 de agosto de 2013.
- Sener (2011a), *Balance Nacional de Energía 2011*, Secretaría de Energía. Disponible en: [http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/BNE_2011.pdf]. Consultado el 14 de agosto de 2013.
- Sener (2012a), *Prospectivas de Energías Renovables 2012-2026*, Secretaría de Energía. Disponible en: [http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PER_2012-2026.pdf]. Consultado el 14 de agosto de 2013.

Sener (2012b), *Estrategia Nacional de Energía 2012-2026*, Secretaría de Energía. Disponible en: [http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/ENE_2012_2026.pdf]. Consultado el 14 de agosto de 2013.

UNEP (2012), *Global Trends in Renewable Energy Investment 2012*, UNEP Collaborating Centre for Climate and Sustainable Energy Finance. Disponible en: [<http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsreport2012.pdf>].

US DOE/EIA (2013), *Annual Energy Outlook 2013 with projections to 2040*, US Energy Information Administration. Disponible en: [[http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2013).pdf)]. Consultado el 14 de agosto de 2013.

WB (2013), *World Development Indicators 2013*, World Bank. Disponible en: [<http://data.world-bank.org/data-catalog/world-development-indicators>]. Consultado el 14 de agosto de 2013.

EQUIPO EJECUTIVO



COORDINADOR GENERAL

José Franco
Presidente de la Academia Mexicana de Ciencias

AMC

Axelle Roze | Emilede Velarde | Fabiola Trelles | Javier Flores | Renata Villalba | Rocío Méndez.



DGDC

Addina Cuervo | Adriana Bravo | Adriana García | Adriana Rayón | Alberto Rentería | Alejandra Noguez | Aline Juárez | Ángel Figueroa | Arturo Orta | Claudia Juárez | Cristina Martínez | Denisse Osuna | Enrique Jiménez | Ernesto Navarrete | Esteban Estrada | Guillermo Castañeda | Iván Pacifuentes | Jareni Ayala | José Luis Vázquez | Juan Carlos Piña | Laura Rojas | Leticia Chávez | Manuel Amaya | Manuel Comi | Mara Salazar | Marcela Martínez | María Elena Arcos | Mariana Fuentes | Mónica Genis | Pablo Flores | Paulina Trápaga | Pedro Sierra | Ramón Cervantes | Ricardo Pacheco | Rogelio Carballido | Rolando Ísita | Rosa Isela Percastre | Rosanela Álvarez | Silvia San Miguel | Susana Trejo | Teresa Segura | Teresita Mendiola | Tlanex Valdés | Vanessa Rendón.



UDUAL

Alfredo Camhaji | Junior Mendoza | Luis Felipe Flores | Luis Fernando Rodríguez | Marco Antonio Villegas | Olivia González | Roberto Escalante Semerena.



3CIN

Ana Victoria Pérez | Laura Villavicencio | Miguel Ángel Quintanilla.



CÁMARA DE SENADORES

Jesús Ramírez.



José Antonio Esteva Maraboto (consultor).

Instituciones participantes en la Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación

Academia Mexicana de Ciencias (AMC)

Dr. José Franco, Presidente

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES)

Dr. Rafael López Castañares, Expresidente

Asociación Mexicana de Museos y Centros de Ciencia y Tecnología (AMCCYT)

Dra. Rosario Ruiz Camacho, Presidenta

Cámara de Diputados

Diputado Rubén Benjamín Félix Hays,
Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LXII Legislatura

Cámara de Senadores

Sen. Francisco Javier Castellón Fonseca,
Expresidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LXI Legislatura

Sen. Alejandro Tello Cristerna,
Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LXII Legislatura

Sen. Juan Carlos Romero Hicks,
Presidente de la Comisión de Educación de la LXII Legislatura

Centro de Investigación de Estudios Avanzados (Cinvestav)

Dr. René Asomoza Palacio, Director General

Consejo Consultivo de Ciencias (ccc)

Dr. Jorge Flores Valdés, Coordinador General

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)

Dr. José Enrique Villa Rivera, Exdirector

Dr. Enrique Cabrero Mendoza, Director

Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCYT)

Dra. Gabriela Dutrénit Bielous, Coordinadora General

Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT)

Dr. Hugo René Andrade Jaramillo, Decano

Fundación 3CIN (España)

Dr. Miguel Ángel Quintanilla Fisac, Director

Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (icyTDF)

Dr. Julio Mendoza Álvarez, Exdirector

Instituto Politécnico Nacional (IPN)

Dra. Yoloxóchitl Bustamante Díez, Directora

Noche de las estrellas

Lic. Emilede Velarde, Responsable

Programa Delfin

Carlos Humberto Jiménez González, Coordinador General

Red de las Alianzas Francesas en México (AF)

Dr. Philippe Palade, Delegado General

**Red Nacional de Consejos y Organismos Estatales de Ciencia
y Tecnología (RedNACEYT)**

Dr. Tomás González Estrada, Presidente

**Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia
y la Tecnología, A. C. (Somedicyt)**

Dra. Elaine Reynoso Haynes, Presidenta

Unión de Universidades de América Latina y el Caribe (UDUAL)

Dr. Roberto Escalante Semerena, Secretario General

Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)

Dr. Enrique Fernández Fassnacht, Exrector General

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Dr. José Narro Robles, Rector

Aguascalientes

CIMAT Aguascalientes.
CIO Aguascalientes.
Subsede del CIATEQ, Aguascalientes.
Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Baja California

El Trompo, Museo Interactivo, Tijuana.
Fundación que Transforma, Tijuana.
Subsede del CICESE, Tijuana.
Universidad Autónoma de Baja California.

Baja California Sur

Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología.
Museo Sol del Niño.
Subsede del CIBNOR, Guerrero Negro.
Subsede del CICESE, La Paz.
Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Campeche

Casa de la Tecnología DGETI-SECUD.
Subsede del COMIMSA, Ciudad del Carmen.
Subsede del ECOSUR, Campeche.
Universidad Autónoma de Campeche.

Coahuila

Centro Cultural Multimedia 2000, A. C.
Museo del Desierto.
Museo de los Metales Peñoles.
Subsede del COMIMSA, Monclova.
Universidad Autónoma de La Laguna.

Colima

Instituto Tecnológico de Colima.
Museo Interactivo "Xoloitzcuintle".
Universidad de Colima.

Chiapas

Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas.
Instituto Tecnológico de Tapachula.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
Museo Chiapas de Ciencia y Tecnología, Tuxtla Gutiérrez.
Subsede del CIESAS, San Cristóbal de las Casas.
Subsede del ECOSUR, San Cristóbal de las Casas.
Universidad Autónoma de Chiapas.

Chihuahua

Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.
Semilla Museo, Centro de Ciencia y Tecnología de Chihuahua.
Subsede del CIAD, Delicias.
Subsede del CIAD, Cuauhtémoc.
Subsede de EL COLEF, Ciudad Juárez.
Subsede del INECOL, Ciudad Aldama.
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Distrito Federal

Academia de Ciencias Administrativas, A. C.
Agua.org.mx.
Centro de Difusión de Ciencia y Tecnología del IPN, Tezozómoc.
Colegio de Ciencias y Humanidades.
El Colegio de México.
Escuela Nacional Preparatoria 1.
Escuela Nacional Preparatoria 2.
Escuela Nacional Preparatoria 3.
Escuela Nacional Preparatoria 4.
Escuela Nacional Preparatoria 5.
Escuela Nacional Preparatoria 6.
Escuela Nacional Preparatoria 7.
Escuela Nacional Preparatoria 8.
Escuela Nacional Preparatoria 9.
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Fundación del Centro Histórico de la Ciudad de México, A. C.
Museo del Instituto de Geología, UNAM.
MUTEC, Museo Tecnológico de la CFE.
Subsede del CICESE, Distrito Federal.
Subsede de EL COLEF, Distrito Federal.
Universidad Anáhuac.
Universidad Panamericana, Campus Ciudad de México.

Durango

Bebeleche, Museo Interactivo de Durango.
Subsede del INECOL, Durango.
Universidad Autónoma de Durango.

Estado de México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.
Instituto Tecnológico de Toluca.
Museo Modelo de Ciencias e Industrias, A. C., Toluca.
Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco.

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán.
Universidad Autónoma del Estado de México.
Universidad de Ixtlahuaca.
Universidad Politécnica de Tecámac.
Universidad Politécnica del Valle de Toluca.
Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl.

Guanajuato

Centro de Ciencias Explora.
Instituto Tecnológico de Celaya.
Universidad Centro de Estudios Cortázar.
Universidad de Guanajuato.

Guerrero

Instituto Tecnológico de Acapulco.
Instituto Tecnológico de Iguala.
Museo Interactivo “La Avispa”.
Universidad Autónoma de Guerrero.

Hidalgo

Museo “El Rehilete”, Pachuca.
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
Universidad Tecnológica de Tulancingo.

Jalisco

CIATEC Guadalajara.
Museo de Ciencia y Tecnología “Guillermo Santoscoy Gómez”.
Subsede del CIESAS, Guadalajara.
Trompo Mágico, Museo Interactivo, Zapopan.
Universidad Autónoma de Guadalajara.
Universidad de Guadalajara.
Zig-zag Centro de Ciencias Interactivo.

Michoacán

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora.
Instituto Tecnológico de Jiquilpan.
Instituto Tecnológico de La Piedad.
Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas.
Instituto Tecnológico de Morelia.
Instituto Tecnológico del Valle de Morelia.
Instituto Tecnológico de Zitácuaro.
Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán.
Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo.
Instituto Tecnológico Superior de Huetamo.
Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes.
Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro.
Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro.

Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro.
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan.
Instituto Tecnológico Superior Purépecha.
Subsede del COLMICH, La Piedad.
Subsede del INECOL, Pátzcuaro.
Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo.
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
Universidad Tecnológica de Morelia.

Morelos

Instituto Nacional de Salud Pública.
Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
Universidad Politécnica de Morelos.

Nayarit

Instituto Las Américas de Nayarit.
Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas.
Instituto Tecnológico de Tepic.
Universidad Autónoma de Nayarit.
Universidad del Valle de Matatipac, S. C.
Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas.
Universidad Vizcaya de Las Américas.

Nuevo León

Horno 3, Museo del Acero.
Planetario Alfa.
Subsede del CICESE, Monterrey.
Subsede del CIESAS, Monterrey.
Subsede de EL COLEF, Monterrey.
Universidad Autónoma de Nuevo León.

Oaxaca

Museo del Palacio.
Subsede del CIESAS, Oaxaca.
Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca.

Puebla

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Colegio México, Tehuacán.
Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango.

Querétaro

Subsede del CIATEQ, El Marqués.
Universidad Autónoma de Querétaro.

Quintana Roo

Instituto Tecnológico de Cancún.
Subsede del CICY, Cancún.
Subsede del ECOSUR, Chetumal.

San Luis Potosí

CIDESI San Luis Potosí.
CIQA San Luis Potosí.
Museo Laberinto de las Ciencias y las Artes.
Subsede del CIATEQ, San Luis Potosí.

Sinaloa

Centro de Ciencias de Sinaloa.
Instituto Tecnológico de Culiacán.
Instituto Tecnológico de Los Mochis.
Instituto Tecnológico de Mazatlán.
Instituto Tecnológico Superior de Eldorado.
Instituto Tecnológico Superior de Guasave.
Instituto Tecnológico Superior de Sinaloa, A. C.
Subsede del CIAD, Culiacán.
Subsede del CIAD, Mazatlán.
Universidad Autónoma de Sinaloa.
Universidad Autónoma Indígena de México.
Universidad de Occidente.
Universidad Politécnica de Sinaloa.

Sonora

Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.
El Colegio de Sonora.
INAOE, Cananea.
Instituto Tecnológico Superior de Cajeme.
“La Burbuja”, Museo del Niño.
Subsede del CIAD, Guaymas.
Subsede del CIBNOR, Guaymas.
Subsede del CIBNOR, Hermosillo.
Universidad de Sonora.
Universidad Estatal de Sonora.

Tabasco

Instituto Tecnológico Superior de Los Ríos.
Subsede del CIATEQ, Villahermosa.
Subsede del COMIMSA, Villahermosa.
Subsede del ECOSUR, Villahermosa.
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Tamaulipas

Subsede de EL COLEF, Matamoros.
Subsede de EL COLEF, Nuevo Laredo.
Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Tlaxcala

Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Veracruz

Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan.
Museo Interactivo de Xalapa-MIX.
Subsede del CIESAS, Xalapa.
Universidad Veracruzana.

Yucatán

Subsede del CIESAS, Mérida.
Universidad Autónoma de Yucatán.

Zacatecas

Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo.



AGENDA CIUDADANA
ENERGÍA

perteneciente a la *Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación*, fue editado por la Academia Mexicana de Ciencias, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM.

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2013 en los talleres de Grupo San Jorge, ubicados en Antonio Plaza 50, Col. Algarín, México, D. F.

En su composición se utilizaron tipos de la familia Thesis de 10/13 puntos.
Fue impreso en offset sobre papel couché mate de 150 gramos.
El tiraje constó de 1 500 ejemplares.

El cuidado de la edición estuvo a cargo de Rosanela Álvarez R.





ENERGÍA

Las fuentes principales de energía (el petróleo, el gas y el carbón), con su uso intensivo, tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente de dimensiones globales y catastróficas. Además, estos recursos fósiles están mostrando su finitud. Esto significa que el actual sistema energético mundial no es sustentable.

Desde la ciencia se han generado propuestas de investigación y desarrollo tecnológico, así como políticas públicas para reducir el uso de hidrocarburos, disminuir sus impactos ambientales y garantizar el acceso a bajo costo a las energías alternas, particularmente a las energías renovables.

Nuestro país debe aprovechar sus condiciones geográficas y recursos naturales para lograr con éxito la transición hacia un uso responsable y sustentable de la energía en el mediano plazo.



