



Una reforma energética limpia

GERARDO CASTILLO
RAMOS*

Un aspecto central para una reforma del sector de energía en este comienzo del siglo XXI es el criterio de sustentabilidad ambiental. La reforma energética en México debe promover las condiciones para un mayor aprovechamiento del potencial que ofrece el uso de fuentes de energía renovable. En particular, el sector eléctrico requiere cambios de carácter institucional, legal y de mercado, que permitan aumentar la participación de este tipo de fuentes en la generación de electricidad.

El desarrollo sustentable es más que necesario en todas las esferas de la actividad económica del presente y el futuro, en virtud del proceso gradual de calentamiento que ha estado experimentando el planeta. Una reforma del sector eléctrico requiere proactividad y congruencia con las acciones y políticas para mitigar el cambio climático; por ello el empleo de fuentes de energía renovable se convierte en una opción de gran alcance para el control de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al incorporar un abanico de tecnologías neutrales en carbono para la generación de electricidad.

En los próximos 25 años se espera una disminución relativa en las reservas globales y en la explotación de

* Estudiante de doctorado en la Universidad de East Anglia, Escuela de Ciencias del Medio Ambiente, Tecnologías de Producción más Limpia y Reducción de las Emisiones de Carbón, Norwich, Reino Unido <Gerardo.Ramos@uea.ac.uk>.

los hidrocarburos. El petróleo, el gas natural y el carbón cubrirán 81% de la demanda global de energía primaria en 2030; pero esto sólo representa un punto porcentual adicional en relación con 2003.¹ En el escenario de referencia elaborado por la Agencia Internacional de Energía, se calcula que la capacidad de refinación del petróleo en escala global crecerá 1.64 y 1.31 por ciento en los periodos de 2004 a 2010 y de 2004 a 2030, respectivamente, hasta alcanzar una capacidad de refinación de 118 millones de barriles por día en 2030.² La comparación entre ambas tasas de crecimiento sugiere una desaceleración gradual de la capacidad de refinación de petróleo. Por el contrario, el escenario de referencia prevé una tasa de crecimiento muy dinámica de las fuentes renovables (6.2%) en la demanda de energía primaria en escala mundial (véase la gráfica 1).³

Este escenario plantea un gran reto para un país como México, debido a su importancia como productor de petróleo y gas natural. Se calcula que su producción petrolera pasará de 3.8 a 3.4 millones de barriles por día en el periodo 2004-2030, lo cual corresponde a una tasa de crecimiento media anual negativa de 0.5%.⁴ Asimismo, se prevé para el periodo 2005-2015 una tasa de crecimiento media anual de 5.2% para el proceso de crudo

pesado, en tanto que se espera una tasa negativa (-1.8%) para el de crudo ligero.⁵

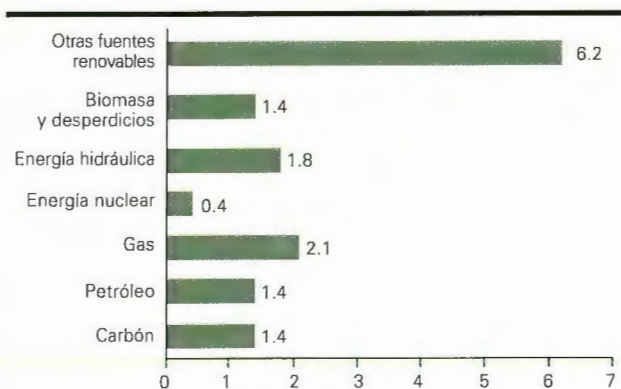
Además, la alta volatilidad de los precios internacionales del petróleo y el gas natural en los últimos años (sobre todo desde 2000) ha afectado al sector industrial, los consumidores y la población en general. En este marco, una reforma eléctrica requiere diversificar su portafolios o estructura de fuentes de energía en un esquema competitivo. El tema de la seguridad en el suministro y la disponibilidad de energéticos en el largo plazo, junto con los elevados precios de los combustibles fósiles, plantea la necesidad de incorporar fuentes alternativas de energía, entre las cuales los recursos renovables desempeñan un papel cada vez más importante.

En las siguientes secciones se examinan tres aspectos fundamentales para una reforma *limpia* del sector eléctrico. El primero se refiere a las implicaciones de una reforma eléctrica para la conservación y el cuidado del ambiente; en este sentido, el tema de la sustentabilidad ambiental pone de manifiesto la necesidad de una explotación óptima de los recursos no renovables en función de sus beneficios para la comunidad.

El segundo aspecto implica el análisis de las condiciones institucionales y las redes de conocimiento necesarias para que las energías renovables se puedan diseminar y sean factibles desde las perspectivas económica y tecnológica. Es de suma importancia el papel del cambio tecnológico en procesos de baja intensidad de carbono y las barreras para la transición hacia el uso de tecnologías más limpias.

En el tercer aspecto se plantea que una reforma eléctrica debe aprovechar las externalidades derivadas de instrumentos de cooperación internacional para mitigar el cambio climático. En particular, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es una figura institucional del Protocolo de Kioto, que abre una ventana de posibilidades de participación para los países en desarrollo en proyectos de generación y cogeneración de electricidad, entre otros.⁶ La orientación fundamental de los proyectos de inversión y cooperación internacional promovidos por el MDL es la mitigación del calentamiento global mediante la reducción de gases de efecto de invernadero (GEI) a la atmósfera. El dióxido de carbono (CO₂) se ha convertido en uno de los referentes principales de GEI en la elaboración y puesta en marcha de proyectos MDL.

G R Á F I C A 1
DINAMISMO DE LA DEMANDA MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA EN EL ESCENARIO DE REFERENCIA, 2005-2030 (TASA DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL)



Fuente: Agencia Internacional de Energía, *World Energy Outlook*, 2005.

1. Agencia Internacional de Energía, *World Energy Outlook*, París, 2005.
 2. *Ibid.*
 3. En la categoría Otras fuentes no renovables se incluyen las fuentes de energía geotérmica, solar, eólica, de mareas y olas.
 4. Agencia Internacional de Energía, *op. cit.*

5. Secretaría de Energía, *Prospectiva de petrolíferos, 2006-2015*, México, 2006.
 6. World Commission on Environment and Development, *Our Common Future. The Brundtland Report*, Oxford University Press, Oxford, 1987.



FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y CUIDADO AMBIENTAL

En la discusión de una reforma eléctrica, la sustentabilidad ambiental significa la explotación de fuentes de energía (renovables y no renovables), de modo que el bienestar social de una comunidad sea el mejor posible en el presente, sin disminuir o poner en riesgo el bienestar social de las generaciones futuras. Éste es un tema fundamental que aún no se ha incorporado bien en la planeación y la regulación de la energía eléctrica, a pesar de que las primeras nociones formales de sustentabilidad ambiental datan del decenio de los ochenta.⁷

El proceso de calentamiento global se puede considerar como el resultado de una falla de mercado en la demanda y el consumo de combustibles fósiles. El precio de combustibles como el petróleo y el gas natural, entre otros, no incluye los costos ambientales que implica su uso⁸ y se esperaría que la propagación de fuentes de energía renovable, así como su precio de producción y consumo, reflejen en menor o mayor grado el costo de conservar el ambiente. Este proceso se explica debido a que la ecología y los problemas ambientales han llegado a ocupar un lugar de mayor peso en la conciencia de la población y en las decisiones de política pública

7. Para una descripción detallada de oportunidades de mitigación de gases de efecto invernadero calculadas para 2014, véase *Hacia una estrategia nacional de acción climática*, síntesis ejecutiva de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2006, cuadro 1.2, p. 12.

8. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Estrategia Nacional de Cambio Climático*, México, 2007.

durante los últimos 30 años. Para el caso de México, la promoción del uso de energías renovables y una regulación ambiental cada vez más compleja son en parte el resultado de un proceso de internalización de las operaciones productivas que cubren, de manera parcial, el costo de restaurar el ambiente.⁹ En el fondo, de lo que se trata en esta discusión es de un proceso de transformación del mercado eléctrico que se encuentra en una etapa temprana, en la que es necesario dar certidumbre a los actores sociales involucrados (inversionistas, industrias cliente, entidades públicas, organizaciones no gubernamentales y la comunidad en general).

Durante muchos decenios, en la economía mexicana y en la de la mayoría de los países del mundo, los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía. En México, por ejemplo, se fue forjando una mística particular hacia la explotación y utilización del petróleo como principal fuente de energía, a partir de la nacionalización del energético en 1938. Esta tendencia hacia el uso generalizado del petróleo se reforzó con subsecuentes inversiones públicas en exploración y explotación de los mantos petrolíferos durante los años setenta.¹⁰ Cabe

9. Para una descripción más detallada, véase Inmanuel Wallerstein, *Conocer el mundo, saber el mundo: el fin de lo aprendido*, Siglo XXI Editores, México, 2001.

10. En el decenio de los setenta se dio un fuerte impulso a la refinación en la industria petrolera. En 1971, el descubrimiento del pozo Chac en la sonda de Campeche por parte de Rudecindo Cantarell daría lugar a la explotación de uno de los yacimientos más importantes, el cual lleva su nombre. Asimismo, la perforación del pozo Maalob 1 dio lugar al descubrimiento del yacimiento Ku-Maalob-Zaap en 1979, que se convirtió en el segundo yacimiento petrolero más relevante de México <www.pemex.com>.

mencionar que una característica estructural de la economía mexicana es el peso significativo que tienen los ingresos petroleros en el financiamiento del sector público; en estas circunstancias, se han creado inercias históricas tanto en la demanda como en la oferta por el uso de combustibles fósiles.

Sin embargo, optar por la interrupción repentina del consumo de combustibles fósiles no sería viable desde el punto de vista tecnológico ni racional desde el económico. La mayoría de la evidencia muestra que los cambios tecnológicos en la historia han ocurrido de manera incremental o evolutiva.¹¹ La infraestructura física de las sociedades industriales contemporáneas (por ejemplo, todas las invenciones y los procesos de producción aplicados desde la revolución industrial) se ha construido casi en su totalidad sobre la base de la explotación de combustibles fósiles. Esto significa que una reconversión de la infraestructura industrial sólo es viable, y se espera que ocurra en el largo plazo, mediante enormes inversiones en capital físico (tecnología, maquinaria y equipo) y en servicios (derechos de propiedad intelectual, conocimientos para la operación, investigación y desarrollo, innovaciones tecnológicas y nuevas disciplinas del conocimiento).¹² En este contexto, un enfoque viable de sustentabilidad ambiental plantea la incorporación de tecnologías para el secuestro, la captura y la aplicación industrial del CO₂ proveniente del uso de hidrocarburos, paralelo a la utilización de energías renovables para generar electricidad. Otras medidas de

mitigación del cambio climático incluirían a la reforestación de los bosques y el aprovechamiento del cambio de uso de la tierra.

Una reforma energética favorable a la conservación del ambiente debe prever un aumento en el estándar de vida de la población y una mejora en la calidad de los servicios energéticos, con menor crecimiento de emisiones de GEI. Asimismo, debe plantear la necesidad de mejorar la eficiencia energética no sólo en el sector de energía sino también en el industrial, de modo que el efecto en el ambiente del uso de fuentes de energía menos contaminantes se vea multiplicado por acciones de conservación y ahorro de energía en la industria. Uno de los elementos básicos para una verdadera reforma eléctrica se refiere al papel que desempeñan los usuarios de energía, ya que un ahorro de energía es una alternativa más viable que la producción adicional (por ejemplo, instalar nuevas plantas o aumentar la capacidad), medido en función de la rentabilidad y del efecto en el ambiente.¹³

En México, 91.6% de la producción de energía primaria corresponde a combustibles fósiles (carbón, petróleo, condensados y gas natural) y el restante 8.4% a fuentes renovables (hidráulica, geotérmica, eólica, nuclear y biomasa).¹⁴ Con base en los datos más recientes, la producción de electricidad, que es un componente de la energía primaria, depende en tres cuartos (74.7%) de combustibles fósiles y un cuarto (25.3%) de fuentes renovables.¹⁵ En cuanto a los combustibles fósiles, el funcionamiento de las termoeléctricas por medio de vapor representa 36.7% de la generación bruta de electricidad, mientras que por el lado de las energías renovables, las hidroeléctricas contribuyen con 13.8% de generación de electricidad, según datos de 2007.

En la gráfica 2 se presenta la evolución histórica de la generación eléctrica en México a partir de fuentes renovables desde 1995, sin incluir la energía eólica. La producción acumulada de energía eléctrica (el área bajo cada curva) se mantiene estable de 1995 a 2007. Teniendo como base la producción acumulada de generación bruta de energía eléctrica, la hidroeléctrica representó 16.3% del total en el periodo señalado, mientras que la geotérmica 3.56%, la nuclear 5.63% y la eólica 0.01 por ciento.

11. Richard R. Nelson y Sidney G. Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Estados Unidos, 1982, y Christopher Freeman y Luc Soete, *The Economics of Industrial Innovation*, MIT Press, Routledge, Londres, 1997.

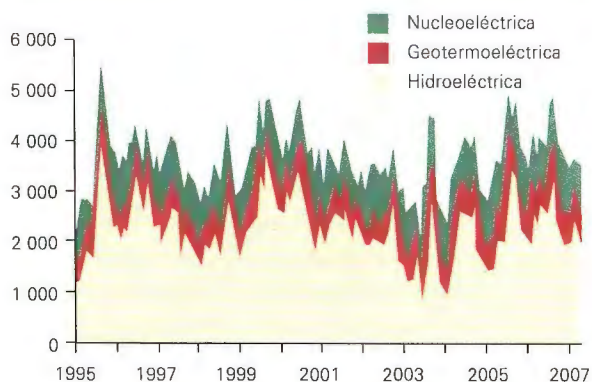
12. El concepto *lock-in* lo propusieron de manera formal Robin Cowan y Philip Gunby, y se refiere a escapar del candado de una infraestructura basada en el carbono ("Sprayed to Death: Path Dependence, Lock-in and Pest Control Strategies", *Economic Journal*, vol. 106, núm. 436, pp. 521-542); Arnulf Grübler, Neboja Nakienovi y David G. Victor también emplean este concepto para explicar la inercia de los sistemas tecnológicos, que implica en muchas ocasiones un candado de estos sistemas ("Dynamics of Energy Technologies and Global Change", *Energy Policy*, vol. 27, núm. 5, mayo de 1999, pp. 247-280); Gregory C. Unrug se refiere a candados de carbono en una perspectiva tecno-institucional ("Understanding Carbon Lock-in", *Energy Policy*, vol. 28, núm. 12, octubre de 2000, pp. 817-830); Timothy J. Foxon plantea la noción de candados tecnológicos e institucionales como una barrera para la innovación sustentable (*Technological and Institutional Lock-in as a Barrier to Sustainable Innovation*, Working Paper, Imperial College, Centre for Environmental Policy and Technology). En esta misma línea, Javier Carrillo Hermosilla emplea el concepto de candado como una posible explicación de la lenta difusión de tecnologías de producción más limpias que las disponibles en el mercado ("A Policy Approach to the Environmental Impacts of Technological Lock-in", *Ecological Economics*, vol. 58, núm. 4, julio de 2006, pp. 717-742).

13. Véase el documento de la Unión de Grupos Ambientalistas, *Seis elementos fundamentales para una verdadera reforma eléctrica*, 2003.

14. Datos para 2005 basados en el Sistema de Información Energética de México (SIEM), de la Secretaría de Energía.

15. Datos para mayo de 2007 basados en el SIEM.

**MÉXICO: GENERACIÓN BRUTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CON FUENTES RENOVABLES, 1995-2007 (GIGAWATTS/HORA)**



Fuente: INEGI, Banco de Información Económica, México, julio de 2007.

Los primeros registros que se tienen de la generación de electricidad a partir de energía eólica datan de 1995. Se trata de una producción muy pequeña que no excede más de un gigawatt/hora y en algunos años no se informa nada. La generación a gran escala mediante el uso de energía eólica comienza al finalizar 2006, con 40 793.7 megawatts/hora en diciembre. La central La Venta II en Oaxaca es el primer proyecto a gran escala de energía eólica y fue inaugurado en marzo de 2007. Esta planta cuenta con 98 generadores y su capacidad es de 83.3 megawatts. En este proyecto, el gobierno federal invirtió en promedio alrededor de 12 pesos por cada watt generado. Asimismo, la Secretaría de Energía puso en marcha el Programa de Energías Renovables, una de cuyas metas consiste en otorgar a los municipios opciones más flexibles en el autoabastecimiento y reducir los costos del consumo de electricidad.

No puede esperarse un efecto por escala en el uso de energía (en particular de electricidad) durante los últimos lustros, dado el crecimiento modesto de la economía mexicana. El escenario de planeación del Sector Eléctrico Nacional (SEN) supone un crecimiento del producto interno bruto (PIB) de 3.8% en el periodo de 2006 a 2015, en tanto que la tasa de crecimiento anual para el consumo nacional de electricidad correspondiente a este escenario es de 4.8%, de modo que se prevé un consumo de 304.7 TWh en el último año.¹⁶ Los efectos ambientales

no se derivan tanto de efectos por escala, sino al contrario: a falta de crecimiento de la demanda, hay capacidad ociosa en la industria generadora de electricidad. En esta situación, las compañías públicas de electricidad (la Comisión Federal de Electricidad y la Compañía de Luz y Fuerza) sufren pérdidas con cualquier disminución de la demanda de electricidad por parte del sector productivo de la economía (la industria manufacturera, por ejemplo) debido a su ahorro de energía.¹⁷

Hay que preguntarse si es deseable para el bienestar social de una comunidad que la capacidad de generación eléctrica adicional se cubra con fuentes de energía menos contaminantes o si debería ser centralizada (corriente alterna) o descentralizada (corriente directa). Si entre las prioridades de una comunidad está la reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) a la atmósfera, se deduce que la construcción de nuevas plantas de electricidad a partir de energías renovables resulta deseable para la sociedad. La intensidad de carbono de las plantas de generación eléctrica a partir de energías renovables tiende a cero (por ejemplo, la operación de turbinas de viento para generar electricidad). De este modo, el crecimiento económico, y de manera particular el de la producción manufacturera y de servicios, se desvincularía de la tendencia a aumentar las emisiones de GEI.



16. Secretaría de Energía, *Prospectiva del sector eléctrico 2006-2015*, México, 2006.

17. Odón de Buen, "¿Tiene la CFE incentivos para promover las energías renovables y el ahorro de energía?", *Transición Energética*, México, 2007 <www.funtener.org>.

Las proyecciones globales sobre consumo de energía prevén el uso de petróleo y gas natural más allá de 2030.¹⁸ Se espera que la difusión de energías renovables se acompañe de sistemas descentralizados en virtud de las características tecnológicas (sistemas intermitentes), escalas de producción, costos de operación y condiciones geográficas (ubicación rural o urbana) de esta nueva generación de tecnologías.¹⁹

LA PROMOCIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DESCENTRALIZADOS

La tendencia hacia el predominio de sistemas centralizados de energía es parte del régimen sociotécnico más eficiente y predominante en escala global. Este régimen se basa en sistemas de corriente alterna que usan tecnologías de combustión preparadas para el consumo de hidrocarburos (petróleo, gas natural, diésel, combustóleo y carbón de coque, entre otros); sin embargo, muchas de las necesidades de energía eléctrica en las comunidades rurales de países en desarrollo no han podido cubrirse con el actual sistema de generación de electricidad. Las energías renovables *in situ* (por ejemplo, junto a los poblados de comunidades aisladas) proveen una alternativa favorable al ambiente y de menor costo; también se evitarían gastos de inversión en sistemas de transmisión e ineficiencias en la red eléctrica. La entrega de mejores servicios de energía ayudaría a incrementar la calidad de vida de las comunidades rurales y al mismo tiempo se reducirían de manera considerable las emisiones de CO₂.

Una de las acciones que incluye el Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012 es la utilización de fuentes de energía renovable para las regiones de difícil acceso para su conexión a la red eléctrica nacional. En esta tarea es deseable la planeación de un sistema descentralizado de generación de energía eléctrica basado en modelos de simulación, cuya operación sea compatible con el alcance geográfico para la entrega del servicio energético. Hay algunos ejemplos de este tipo de planeación descentralizada de electricidad para países en desarrollo como la India (en la villa de Fatehpur), Bangladesh, comunidades desérticas en Egipto y la región norte de China. Los tipos de alcance geográfico se

clasifican como villa, localidad, bloque de localidades, distrito o región.²⁰

ADECUACIONES INSTITUCIONALES Y REDES DE CONOCIMIENTO

En la actualidad, para la expansión de energías renovables hay limitantes de carácter legal, institucional y de mercado. En el caso de la generación distribuida de energías renovables, se identifican barreras en cuanto a la falta de conocimiento de su potencial, grandes inversiones iniciales, percepción de riesgos tecnológicos, mercado de energía desfavorable, carencia de un marco legislativo y un entorno institucional restringido.²¹ Por otra parte, se ha sugerido que el avance de una normatividad consistente y de regulaciones técnicas sobre calidad y rendimiento de equipos reduce las barreras para la difusión de energías renovables en países en desarrollo.²²

Una de las adecuaciones institucionales de mayor trascendencia para promover el desarrollo de energías renovables tiene que ver con la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (por ejemplo, los permisos para generación por parte de particulares). Las adecuaciones a esta ley de 1993 han facilitado la participación de empresas privadas en la generación de electricidad, las cuales se han constituido bajo la figura de Productores de Energía Independientes (PEI) y de Sociedades de Autoconsumo (SAC). Los proyectos de participación privada más recientes de generación de energía en gran escala corresponden, en su mayoría, a plantas de ciclo combinado a partir de gas natural (CCGN).²³ Los PEI representan poco más de una quinta parte (21.4%) de la capacidad de generación efectiva instalada total.²⁴

18. Agencia Internacional de Energía, *op. cit.*

19. Véase una explicación de la difusión de energías renovables en Odón de Buen, "Las energías renovables y la política pública en México", *Transición Energética*, México, 2007 <www.funtener.org>.

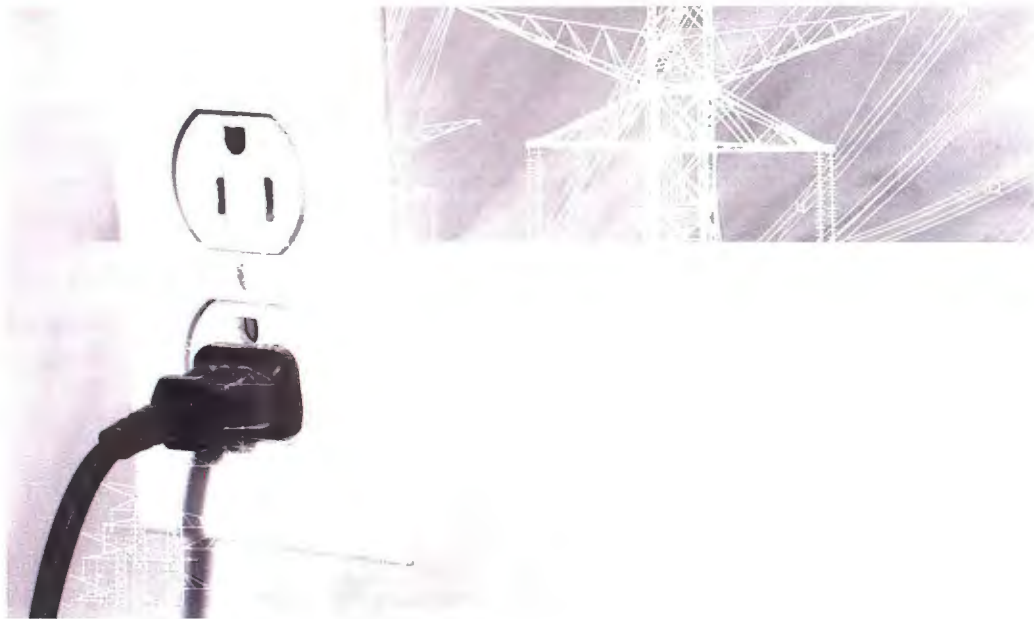
20. Para una clasificación de modelos de energía, véase R.B. Hiremath, S. Shikha y N.H. Ravindranath, "Decentralized Energy Planning: Modeling and Application. A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, núm. 11, 2005, pp. 729-752.

21. Véase la presentación de Jorge M. Guacuz, "Generación distribuida con energías renovables: experiencias en México", Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, 2001.

22. Para una descripción detallada acerca de normalización y desarrollo de programas de ahorro de energía y fuentes renovables, véase Odón de Buen, "La normalización para el ahorro de energía y energías renovables en México: un balance", *Transición Energética*, México, 2007 <www.funtener.org>.

23. Armando Llamas, Federico Viramontes, Oliver Probst *et al.*, "The Mexican Power Sector and its Dependence on Natural Gas", *Cogeneration and Distributed Generation Journal*, vol. 20, núm. 1, 2005, pp. 6-36.

24. Información de la Comisión Federal de Electricidad actualizada a marzo de 2007.



Al finalizar junio de 2007, la Comisión Reguladora de Energía había otorgado 22 permisos de generación de electricidad bajo la figura de PEI, que suman una capacidad autorizada total de 13 153.1 megawatts. La mayoría de estos permisos corresponde a plantas con tecnología CCGN (sólo cuatro casos usan una combinación de gas natural y diesel).

El sector institucional ha trabajado en favor de la promoción de energías renovables mediante la Iniciativa para el Aprovechamiento de Fuentes Renovables de Energía, que fue aprobada en el Congreso en diciembre de 2005. Una de las metas de esta iniciativa es incrementar la participación de las energías renovables a 8% en el total de electricidad generada (dentro de este objetivo no se consideran hidroeléctricas a gran escala). Asimismo, hay dos contenidos de carácter legal que le quitan el candado a una mayor difusión de las renovables. El primero establece que las retribuciones a los generadores de energía deben expresar los costos evitados por los suministradores como resultado de la operación de los proyectos de generación. El segundo contenido establece que la electricidad generada con recursos renovables debe ser aceptada en cualquier momento por el Sistema Eléctrico Nacional.²⁵ Dado el carácter intermitente de las energías renovables, esto ofrece certeza a los generadores de no incurrir en pérdidas en la colación de energía en la red eléctrica.

Otro instrumento institucional que facilita el empleo de energías renovables en la modalidad de productor

privado es el Contrato de Interconexión para Autoabastecimiento. Un aspecto central de éste es la definición de la *potencia autoabastecida* del permisionario, que consiste en el promedio de las potencias medidas en el punto de interconexión, verificados dentro de 12 intervalos de medición en la hora de demanda máxima de los días laborales del mes del que se trate.²⁶ Otras iniciativas no menos relevantes para la promoción de energías renovables se refieren a temas como el impuesto sobre la renta, la modificación de la Ley Federal de Derechos y las Normas Oficiales Mexicanas.²⁷

Una de las metas que se ha fijado la Secretaría de Energía para 2012 es que las fuentes renovables de energía representen un cuarto de la capacidad de generación de electricidad total. En este sentido, se han emprendido acciones de apoyo al crecimiento de fuentes renovables de energía en México. El proyecto La Venta III comprende la construcción de una planta eólica con un modelo de operación de productor independiente, que contará con el financiamiento del Fondo Mundial para el Medio Ambiente.²⁸ La generación acumulada de electricidad por medio de energía eólica a mayo de 2007 asciende a 103 482.7 megawatts/hora y se espera un aumento importante en los próximos años.²⁹

26. *Ibid.*

27. *Ibid.*

28. Secretaría de Energía, boletín de prensa, 6 de marzo de 2007.

29. La Secretaría de Energía, con base en datos de la *Prospectiva del sector eléctrico 2006-2015 (op. cit.)*, sugiere una tasa de crecimiento media anual de 23.9% de la capacidad instalada de energía eólica de 2006 a 2014. El pronóstico de desarrollo de la capacidad instalada de energía eólica se concentra en la región sur-sureste del país, donde la capacidad instalada pasaría de dos megawatts en 2005 a 591 en 2010, y en años posteriores se considera que se mantendrá constante. En el caso de la región noroeste, se calcula una capacidad instalada de energía eólica constante de un megawatt en todo el periodo.

25. Francisco Torres Roldán y Emmanuel Gómez Morales, *Energías renovables para el desarrollo sustentable en México*, Secretaría de Energía-Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit-Centro Mario Molina, México, 2006.

La naturaleza de los instrumentos legales e institucionales

La misión fundamental de estas herramientas consiste en facilitar la difusión y el crecimiento de las energías renovables. Una característica básica de estas fuentes energéticas es que su soporte tecnológico se encuentra, en algunos casos, en una etapa experimental o bien su aplicación comercial aún está en una fase temprana.

Una coordinación oportuna de política pública para controlar el nivel de emisiones de CO₂ requiere de un entendimiento cabal de los fenómenos subyacentes al proceso de transformación del sistema energético; además, para interpretar la evidencia disponible es necesario apoyarse en un enfoque analítico. Debido a que estos fenómenos se relacionan en gran medida con cambios tecnológicos e innovación, algunas propuestas sugieren un enfoque de sistemas tecnológicos,³⁰ que resulta relevante porque poseen características específicas de tecnologías alternativas que compiten para desempeñar una función en concreto; por ejemplo, en cuanto a las energías renovables, ésta consiste en la provisión de un servicio energético menos intensivo en carbono.

En el enfoque de sistemas tecnológicos, la identificación de grandes requerimientos de energía se vuelve necesaria para una reforma energética congruente con acciones para mitigar el cambio climático. Los requerimientos energéticos pueden agruparse de acuerdo con actividades industriales estratégicas, pero también en una dimensión temporal mediante la elaboración de escenarios de crecimiento económico. Sin embargo, la mayor utilidad del enfoque propuesto radica en la identificación y el funcionamiento de sus actores (sociales) y sus competencias, redes e instituciones (mecanismos).

El sistema energético en México está constituido por un grupo de instituciones que no sólo se encargan de proveer este servicio sino también de su regulación y funcionamiento adecuado. La Secretaría de Energía cuenta con el apoyo de organismos de soporte como la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae) y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (Fide). Asimismo, hay un grupo de figuras institucionales que establecen redes alrededor del sistema energético; la legislación y las modificaciones a la ley que se mencionaron constituyen en sí mismas una figura insti-

tucional. En este punto, es importante evitar una falla institucional en el sentido de que la legislación requiere ser imparcial para no favorecer el dominio de tecnologías convencionales predominantes e impedir la entrada de fuentes alternativas de energía.³¹ Otro aspecto se refiere a una cultura de intensificación de ahorro de energía promovida por la Conae y el Fide, la cual también es un instrumento institucional.

En un enfoque de sistemas tecnológicos, se pone atención al desarrollo de redes de transferencia de conocimiento en torno a tres organismos de gobierno: la Secretaría de Energía, que debe garantizar el suministro de energías renovables; la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que debe promover y coordinar acciones de mitigación del cambio climático, y la Secretaría de Economía en colaboración con la Comisión Reguladora de Energía, que deben promover de manera conjunta la competitividad de fuentes de energía renovables y de tecnologías menos intensivas en carbono, así como la aplicación de una regulación eficiente y transparente. Se considera que en la interacción de estos organismos hay redes de flujos de conocimiento entre diferentes actores sociales, entre ellos los inversionistas. En el caso de este último grupo es necesario entender cómo se vinculan los proyectos MDL con el sector de energía en México, en el sentido de facilitar la implantación y potenciar el efecto de proyectos MDL para el control de emisiones de CO₂. Asimismo, la participación de las agrupaciones empresariales, como el Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (Cespedes) y otras cámaras industriales y de comercio, es útil para definir los cambios legislativos necesarios para promover el desarrollo y la difusión de tecnologías alternativas en la generación de energía.

Al respecto, con la creación de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), presidida por la Semarnat; del Comité Consultivo de Cambio Climático (C4); del Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero (Comegei),³² y del Programa de Gases de Efecto Invernadero (GEI) se establecen las condiciones iniciales para

31. *Ibid.*

32. La Comisión cuenta con un Secretariado Técnico a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y está integrada por siete secretarías, entre ellas la de Energía y la de Economía, lo que deja ver el carácter interinstitucional y la posible creación de redes de conocimiento. Para una descripción más detallada sobre esta Comisión y sus funciones, consúltense el portal electrónico de cambio climático de la Semarnat, así como el de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.

30. Staffan Jacobsson y Anna Jonson, "The Diffusion of Renewable Energy Technology: An Analytical Framework and Key Issues for Research", *Energy Policy*, núm. 28, 2000, pp. 625-640.

construir las redes e instituciones de los sistemas tecnológicos. Sin embargo, estos organismos son recientes y hay que observar su evolución en los próximos años para hacer un análisis más completo. Según este enfoque, una reforma energética necesita incorporar en sus contenidos los efectos en el medio ambiente de la elección de una ruta tecnológica menos intensiva en carbono.

POTENCIAL DE MITIGACIÓN MEDIANTE PROYECTOS MDL

El nivel de emisiones calculado para México en 2000 fue de 622.6 millones de toneladas de CO₂ equivalente, que corresponde a una participación de 1.51% en el total mundial. Esta cifra ubicó al país como el emisor de CO₂ número 13, después de Canadá y el Reino Unido. Sin embargo, medido por sus emisiones per cápita, se encuentra en la posición 93, con un valor de 6.4 toneladas de CO₂ equivalente por habitante.³³

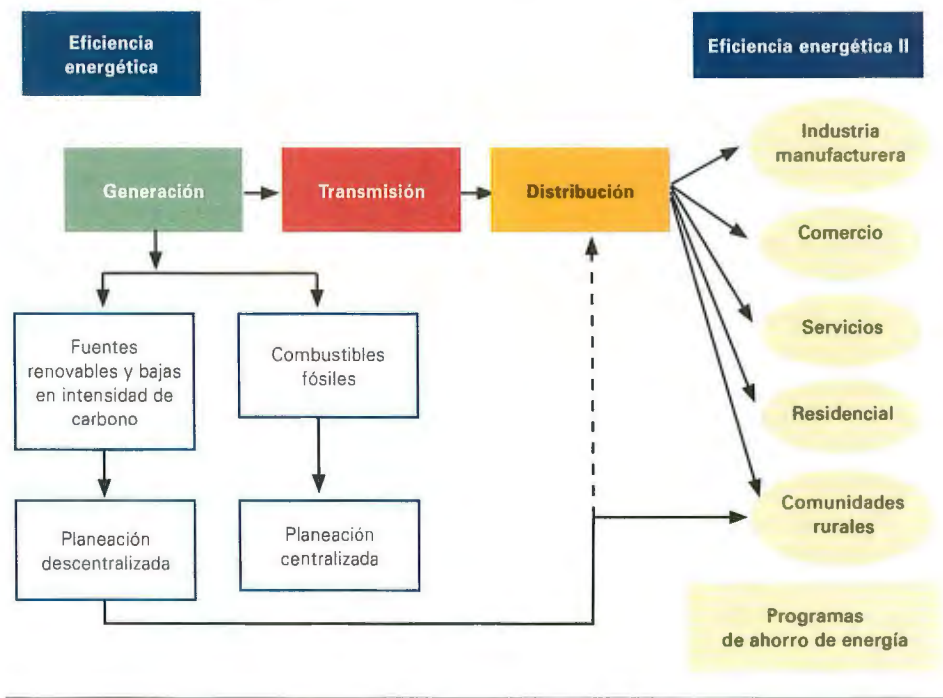
Una estrategia importante de mitigación del cambio climático consiste en la identificación de oportunidades en diferentes sectores de la economía, para aplicar proyectos encaminados a reducir las emisiones de CO₂. En México, el sector de generación y uso de energía (que incluye consumo de combustibles fósiles y emisiones fugitivas) contribuye con la mayor cantidad de emisiones de CO₂ (61% del total nacional de emisiones en 2002).³⁴ Las emisiones acumuladas de 1990 a 2002 provenientes del sector de energía ascendieron a 2 508.5 millones de toneladas de CO₂ equi-

valente, con una tasa de crecimiento media anual de 1.72% durante el periodo.

La reducción de emisiones del sector de energía se puede alcanzar, por un lado, mediante un uso más eficiente en el consumo (por ejemplo, mediante programas de eficiencia energética) en los diferentes sectores de la economía. Sin embargo, la introducción de tecnologías más limpias, y en especial el incremento de las fuentes renovables de energía, tendrían un efecto potenciado en la reducción de emisiones. En el diagrama se representa un modelo simplificado que sugiere la necesidad de un enfoque holístico en la identificación de proyectos de mitigación del cambio climático.

Una reducción de la intensidad energética conduce a una disminución de las emisiones de carbono. En esta estrategia, es necesario identificar los sectores en los que la generación y la entrega de los servicios energéticos tienen un mayor potencial para reducir emisiones de CO₂. En el diagrama se propone un modelo en el que la generación de energía eléctrica debe optimizar el empleo de combustibles fósiles; al mismo tiempo, otro componente importante del aprovechamiento de energía se

SISTEMA ELÉCTRICO



33. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Estrategia Nacional de Cambio Climático*, op. cit.

34. *Ibid.*

explica por las mejoras en la eficiencia energética en el sector industrial y programas para ahorro de energía en los sectores de comercio, servicios y residencial. Se ha calculado que el potencial de reducción de emisiones de CO₂ para 2014 es de 23.8 millones de toneladas por la aplicación de normas de eficiencia energética elaboradas por la Conae; asimismo, hay un potencial para reducir emisiones de CO₂ de 3.65 millones de toneladas debido a programas del Fide.³⁵ La planeación descentralizada de fuentes renovables de energía complementa la planeación centralizada de la infraestructura de hidrocarburos.

En este modelo, la cogeneración se ubica como parte de un sistema descentralizado de tipo *topping cycle*. Esto es, una planta de cogeneración produce primero electricidad y el vapor exhausto (condensado) se usa con el fin de generar calor para calentar agua o para calefacción habitacional. Los sistemas de cogeneración a gran escala producen agua caliente y energía para plataformas industriales o poblados completos. Se calcula que Petróleos Mexicanos (Pemex) cuenta con un potencial de cogeneración de aproximadamente 2 900 megawatts; dentro de éste, el Sistema Nacional de Refinación tiene una capacidad de 1 400 megawatts. Asimismo, está en marcha un proyecto de cogeneración en el Centro Procesador de Gas Nuevo Pemex, con una capacidad de 300 megawatts. La *Estrategia Nacional de Cambio Climático* para México presentada en 2007 recomienda la creación de nuevas plantas de cogeneración en el sistema de refinación de Pemex; con ello se reducirían emisiones de CO₂ del orden de 7.7 millones para 2013. En relación con el sector industrial —en especial siderurgia, cemento, petroquímica, minería, papel, vidrio y azúcar—, el potencial de cogeneración oscila entre 4 500 y 9 600 MW al año.³⁶

Por el lado de las emisiones evitadas de CO₂, la *Estrategia Nacional de Acción Climática* identifica la cogeneración en la industria como el principal segmento potencial para reducir emisiones de CO₂ (25 millones de toneladas al año). Otro segmento potencial para la reducción de emisiones es la reconversión a gas natural en las termoeléctricas de la CFE en el Pacífico, así como la modernización del Sistema Nacional de Refinación (21 millones de toneladas al año). Éste es un enfoque holístico debido a que las oportunidades de mitigación

consideran no sólo al sector energético (incluye fuentes de energía renovables) sino también a la industria manufacturera y al sector de transporte.³⁷

Una alternativa favorable al ambiente que se ha adoptado en México consiste en el uso del gas natural en centrales de ciclo combinado (CCGN). En la actualidad hay 12 de estas plantas de la Comisión Federal de Electricidad ubicadas en 10 estados del país, con una capacidad efectiva instalada de 5 203 megawatts, la cual representa 10.8% de la capacidad total (incluye a la CFE y productores independientes) en 2007; Dos Bocas es la planta más antigua de ciclo combinado, ya que opera desde 1974, mientras que Hermosillo es la más reciente, pues inició operaciones a finales de 2005.³⁸

El consumo de gas natural para la generación de energía eléctrica (incluye CFE, LyF y PEI) representó 39.6% del total de combustibles fósiles en 2005.³⁹ Aunque el gas natural es menos perjudicial al ambiente debido a que su factor de emisión de carbono es mucho menor que el de otros combustibles fósiles, hay la disyuntiva económica de recurrir al uso de hidrocarburos más baratos cuando es posible sustituirlos en procesos semejantes (por ejemplo, uso de coque del petróleo debido a un encarecimiento del gas natural). Las plantas de ciclo combinado que usan gas natural registran un nivel de emisiones de CO₂ muy bajo en relación con otras tecnologías (359 gramos de CO₂ por Kwh);⁴⁰ ello se debe a que este tipo de plantas trabaja con mejor eficiencia y el gas natural tiene un factor de emisión muy bajo por millón de BTU (British Thermal Unit).

La gráfica 3 muestra la evolución del precio del gas natural desde 1994, a partir de un índice que toma 2003 como año de referencia, y en la cual se observa una tendencia a largo plazo de encarecimiento del gas natural. Asimismo, se nota una alta volatilidad del precio de este hidrocarburo desde los primeros meses de 2000. Esto provoca que el precio del gas natural presione hacia un incremento del costo total de la energía de autoabastecimiento.

A pesar de las bondades de la tecnología CCGN, una tendencia de crecimiento del precio del gas natural ha

35. Secretaría de Energía, *Prospectiva del sector eléctrico 2006-2015*, op. cit.

36. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Estrategia Nacional de Cambio Climático*, op. cit.

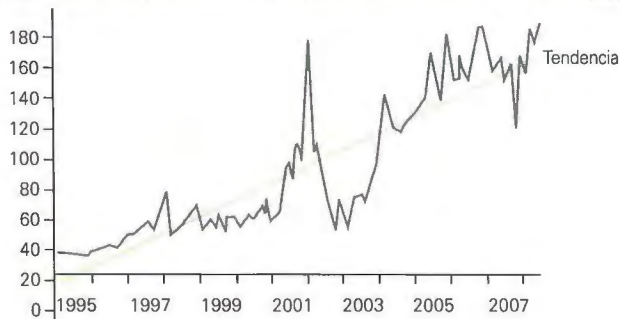
37. Véase una descripción del tipo de actividad para reducciones calculadas de emisiones en el documento de la Semarnat, *Hacia una estrategia nacional de acción climática en México*, op. cit.

38. Información de la Comisión Federal de Electricidad actualizada a marzo de 2007.

39. Calculado con base en un total de 4 377 terajoules por día. Secretaría de Energía, *Prospectiva del sector eléctrico 2006-2015*, op. cit.

40. Para una comparación del nivel de emisiones por tipo de tecnología y combustible fósil empleado, véase Armando Llamas et al., op. cit.

MÉXICO: ÍNDICE MENSUAL DE PRECIOS DEL GAS NATURAL, 1994-2007



Nota: con base en diciembre de 2003.

Fuente: Banco de México, Índice de precios, productos y de comercio exterior, 2007.

hecho viables otras alternativas tecnológicas a partir del uso de gas de síntesis. Se trata del ciclo combinado de gasificación integrada (CCGI) mediante el empleo de coque del petróleo, carbón, plásticos residuales y aceites de desecho.⁴¹ Este estudio sugiere que la participación de los productores de energía independientes (PEI) no sólo ha incrementado la eficiencia térmica de CCGN a 39.7% sino que también ha disminuido el costo de generación de 0.56 a 0.53 pesos por kilowatt/hora. Esta mejora de la eficiencia térmica se atribuye en parte a diferencias en la edad y la obsolescencia de las plantas de generación.

CONCLUSIONES

Una participación creciente de los recursos renovables para generar electricidad responde a necesidades de diversificación, seguridad en el suministro, elevados precios de los combustibles, competitividad y, de manera especial, preservación ambiental. En las consideraciones de una reforma eléctrica funcional se recomienda incluir estos componentes, de forma tal que la discusión no se reduzca al tipo de propiedad (pública y privada) de los participantes en el sector. Con el enfoque de sistemas tecnológicos es posible incorporar, con fines analíticos, las características básicas de un sistema energético, de

41. *Ibid.*

modo que al planear su expansión se respalde de manera simultánea y se dé un mayor alcance a las acciones encaminadas a mitigar el cambio climático. Los actores sociales y las instituciones que forman parte de estos sistemas tecnológicos están vinculados e interactúan en torno a los flujos de conocimiento (tácito y formal).

Asimismo, este análisis pone de manifiesto la necesidad de un criterio de transversalidad en la aplicación y coordinación de las políticas públicas, que se sobrepone (o traslapan) de manera natural en las tareas que competen a la generación y provisión de los servicios energéticos, el control de las emisiones de CO₂ y la competitividad industrial. Por tanto, una tarea de investigación pendiente es la definición y la elaboración de una metodología para medir estos flujos de conocimiento, así como la conformación de redes en torno a la expansión del sector energético, el cambio tecnológico y la mitigación del cambio climático. ◀CE

