



La inminente **CRISIS** del **PETRÓLEO**

Roger Magar Vincent y Fernando del Río Haza

En diciembre de 2003 México produjo 3 millones 455 mil barriles diarios de petróleo, la mayor cifra de nuestra historia. En marzo de 2008, la producción se había reducido ya a sólo 2 millones 847 mil barriles diarios, una caída del 17 por ciento en algo más de cuatro años (estas cifras, como las demás utilizadas en este artículo, salvo advertencia contraria, provienen de las páginas electrónicas del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía, de Pemex y de la Comisión Federal de Electricidad).

El descenso no parece detenerse, y cada mes nuestra producción de crudo cae en alrededor del 2.5 por ciento. Esta declinación está conectada con la álgida y ríspida discusión pública y política sobre el petróleo, enfocada principalmente en qué hacer con Pemex. Aunque se acepta que la situación del abasto petrolero es grave, no se advierten síntomas de real preocupación, y la discusión se centra en cómo y cuándo extraer petróleo de la región de aguas profundas del Golfo de México, donde se supone que existe en grandes cantidades.

Aquí mostraremos que la situación es mucho más grave y apremiante de lo que se reconoce en los medios, y que la salida de la crisis no está en el supuesto “tesoro” en el fondo del Golfo de México, sino en las energías renovables de que disponemos en abundancia: el Sol y el viento. Veremos también que la tecnología para aprovechar estos recursos ya está disponible y que ya es económicamente redituable comenzar a utilizarlos. Por falta de espacio sólo se bosquejan los principales argumentos y no se tocan otros temas importantes que están imbricados con el energético: el ambiental, el social y el económico.

Las energías primarias

Para entender el papel que el petróleo desempeña en la inminente crisis energética, es obligado señalar la diferencia entre la energía primaria y la secundaria. La energía primaria es aquella que se puede obtener directamente de la naturaleza, sin tener que pasar por algún proceso de transformación. Pero como la energía de las fuentes primarias no puede usarse directamente en muchas aplicaciones, se requiere un agente intermedio; es aquí donde entran los energéticos secundarios (véase el cuadro Las energías primarias y secundarias).

Las celdas fotovoltaicas convierten la radiación solar en electricidad
y ponen en funcionamiento a la estación espacial internacional



LAS ENERGÍAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

Entre las energías primarias las hay renovables, como la del Sol, el viento, el centro de la Tierra y las caídas de agua; y no renovables, constituidas principalmente por combustibles fósiles: carbón mineral e hidrocarburos (petróleo crudo y gas natural), y combustibles nucleares fisionables (el uranio y el torio). También contamos con la energía de la madera y de otros bio-combustibles, que pueden considerarse renovables siempre que explotemos con el debido cuidado sin destrozar el ambiente al hacerlo. Hay, por último, otra clase de combustibles nucleares, como el deuterio y el tritio, isótopos pesados del hidrógeno que forman la sustancia básica de la *fusión* nuclear; sin embargo, faltan quizá décadas antes de que la tecnología de fusión nuclear esté lista para aplicarse en la práctica, si es que algún día llega a estarlo.

Las energías secundarias se obtienen de las primarias mediante alguna transformación industrial. Las más importantes son la electricidad y los combustibles refinados, como la gasolina, el diesel, la turbosina y el combustóleo, obtenidos todos de la refinación del petróleo. La electricidad, por su parte, es generada a partir de las diferentes energías primarias mediante plantas hidroeléctricas, termoeléctricas, geotérmicas, eólicas, etcétera.



Cápsula de combustible preparada para el reactor de fusión de confinamiento inercial NIF, rellena de deuterio y tritio.

Durante todo el siglo XX los hidrocarburos fueron nuestra principal fuente energética primaria, tanto que en 2005 el 82.5 por ciento de nuestro consumo energético fue cubierto con petróleo crudo y gas natural. Aunque todo el mundo padece de esta dependencia, pocos países la sufren al extremo de México. En parte dependemos del petróleo porque ha sido abundante en el territorio nacional, pero también por haber tomado decisiones incorrectas o a destiempo. Por ello no hemos desarrollado en su oportunidad y en la magnitud deseable la energía nuclear ni nuestro considerable potencial hidroeléctrico. Pero además, no hemos impulsado en serio el desarrollo de tecnologías energéticas modernas y alternativas, lo que es sólo reflejo parcial de una equivocada —¿o ausente?— política industrial, tecnológica y científica.

Como ilustración de nuestra dependencia del petróleo, la Figura 1 muestra la distribución del consumo

de energía en México según la fuente primaria, en 2006. La energía eólica contribuía con sólo 0.006 por ciento, y la solar aún con menos. Por depender de un solo energético, cualquier dificultad con el abastecimiento de éste producirá un problema realmente grave en el nivel nacional; éste es el origen de la crisis. Por otra parte, además de necesitar al petróleo para mover nuestra economía, también dependemos de él como fuente de divisas y de recursos fiscales. Por ello, una caída fuerte y sostenida en nuestra producción tendría gravísimas consecuencias para el país.

El pico del petróleo

Pues bien, nuestra producción de petróleo crudo está declinando y lo hace rápidamente. ¿Cómo va a evolucionar esta producción? ¿Qué tan pronunciada será la caída? ¿Se detendrá en algún nivel? ¿Se

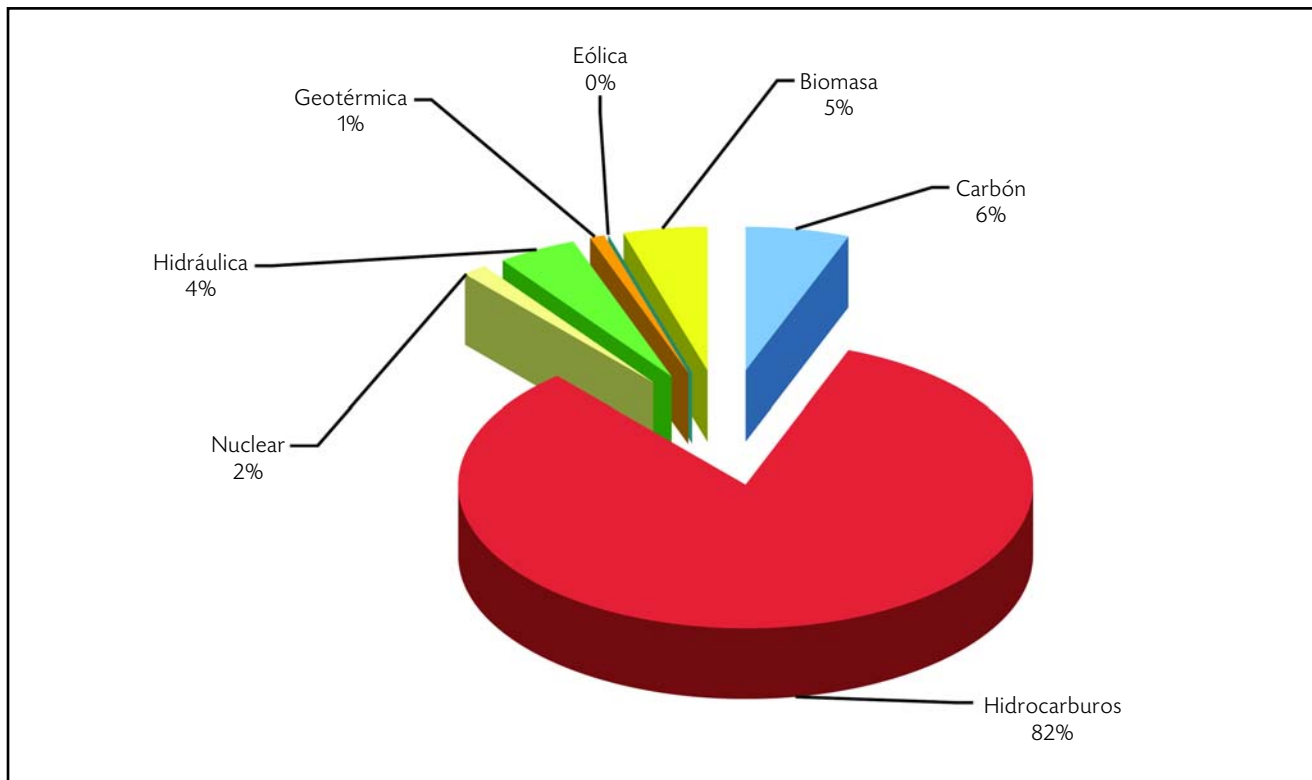


Figura 1. Distribución del consumo de energía primaria en México, por tipo de fuente, en el año 2006. El predominio de los hidrocarburos (petróleo y gas natural) es apabullante. (Fuente: SIE-SENER). El porcentaje preciso de la energía eólica, sin redondear, es de 0.006 por ciento.

podrán recuperar los niveles de producción del orden de tres millones de barriles diarios que teníamos hace pocos años?

Por lo pronto, el comienzo de la caída en la producción ya está registrado en las fuentes oficiales (Secretaría de Energía y Pemex), y lleva ya cuatro años (si se considera la producción promedio mensual. Si se tomase la media anual, menos precisa, el pico correspondería al año 2004). El descenso entre el máximo o pico de diciembre de 2003 y marzo de 2008 (608 mil barriles diarios) se debe a que la producción de Akal-Nohoch –nuestro principal yacimiento, que pertenece al complejo Cantarell– cayó a sólo un millón 68 mil barriles diarios en marzo de 2008, que es el 50 por ciento de los 2 millones 140 mil barriles diarios que producía en diciembre de 2003. Actualmente, la extracción en Akal-Nohoch desciende un 6.7 por ciento al mes. Este descenso ha podido ser amortiguado, pero no detenido, gracias a otros yacimientos, principalmente del complejo Ku-Zaap-Maloob, que hoy produ-

ce 663 mil barriles diarios. Pero la caída no se podrá compensar mucho más, ya que se espera que Ku-Zaap-Maloob llegue en 2010 a un máximo de 790 mil barriles diarios, menos de los que ya ha perdido Akal-Nohoch.

El único otro gran yacimiento con que contamos, y de cuyo contenido tenemos una certeza razonable, es Chicontepec. Éste es un yacimiento de arenas bituminosas, es decir, formado por una mezcla de arena, alquitrán (bitumen o betún), arcilla y agua, muy distinto de las rocas porosas impregnadas de crudo de los yacimientos convencionales, y de mucho más difícil explotación. Por eso, aunque Chicontepec cuenta con una gran cantidad de petróleo *in situ* (120 mil millones de barriles, sólo una fracción de ellos extraíbles), los pozos ya en activo producen en promedio sólo 23 barriles diarios cada uno. Se tiene contemplado perforar en Chicontepec del orden de 17 mil pozos, como máximo, con lo que alcanzaría dentro de unos años una producción de 393 mil barriles diarios. Vemos que

El país perderá decenas de miles de millones de dólares de divisas por la exportación de crudo, que en gran parte sirven para equilibrar la balanza comercial. Quizá esto suene inocuo, pero la pérdida de la exportación petrolera quiere decir que tendremos problemas para importar lo que requerimos



este yacimiento por sí solo producirá únicamente 11 por ciento de nuestro máximo. Otras posibles fuentes de hidrocarburos en México, como los yacimientos del Sureste y en las aguas someras del Golfo de México, son yacimientos más bien pequeños o medianos, muy lejos de Akal-Nohoch, y que no podrán compensar la pérdida de producción de éste.

Frente a este escenario ominoso, se ha argumentado como una posible salida la explotación en aguas profundas del Golfo de México. Se supone que estos yacimientos son gigantescos, con unos 30 mil millones de barriles entre crudo y gas natural. Sin embargo, hay grandes dudas sobre el tamaño real de estos yacimientos. Las reservas petrolíferas se clasifican normalmente en probadas, probables y posibles, dependiendo del grado de certeza que se tenga sobre ellas, lo que se establece mediante la prospección geológica y geofísica, complementadas por la perforación exploratoria. De esta prospección no se obtiene una medida de cuánto petróleo hay realmente en la zona explorada, sino sólo de la *probabilidad* de que haya una cierta cantidad.

Pues bien, la estimación de las reservas en aguas profundas del Golfo de México es tan muerta que ni siquiera son clasificadas como reservas posibles, sino que se ha acuñado incluso un nuevo término: “recursos posibles”. Lo que esto significa es que la probabilidad de encontrar los 30 mil millones de barriles en esa zona es muy baja, del orden del 5 o 10 por ciento, y que lo más probable es que haya ahí sólo la décima parte, esto es, unos 3 mil millones. Estas consideraciones, más las dificultades técnicas de extraer petróleo de yacimientos bajo el agua a profundidades de entre 1 500 y 3 000 metros, son suficientes para acusar de temeridad a quien apueste que la energía que necesita el país va a provenir de los hidrocarburos del fondo del Golfo de México.

La situación de las reservas de gas natural tampoco es halagüeña. Si bien la producción ha crecido —pues alcanzó 148 millones de metros cúbicos diarios en 2006—, tenemos reservas probadas para sólo 11 años con la producción actual, y quizás sólo se sostenga algunos años más, antes de alcanzar su pico.

La situación futura es aún más preocupante ya que nuestra población y economía están creciendo, aunque a tasas moderadas, lo que demandará cantidades

crecientes de energía que deberemos agenciarnos de algún lado.

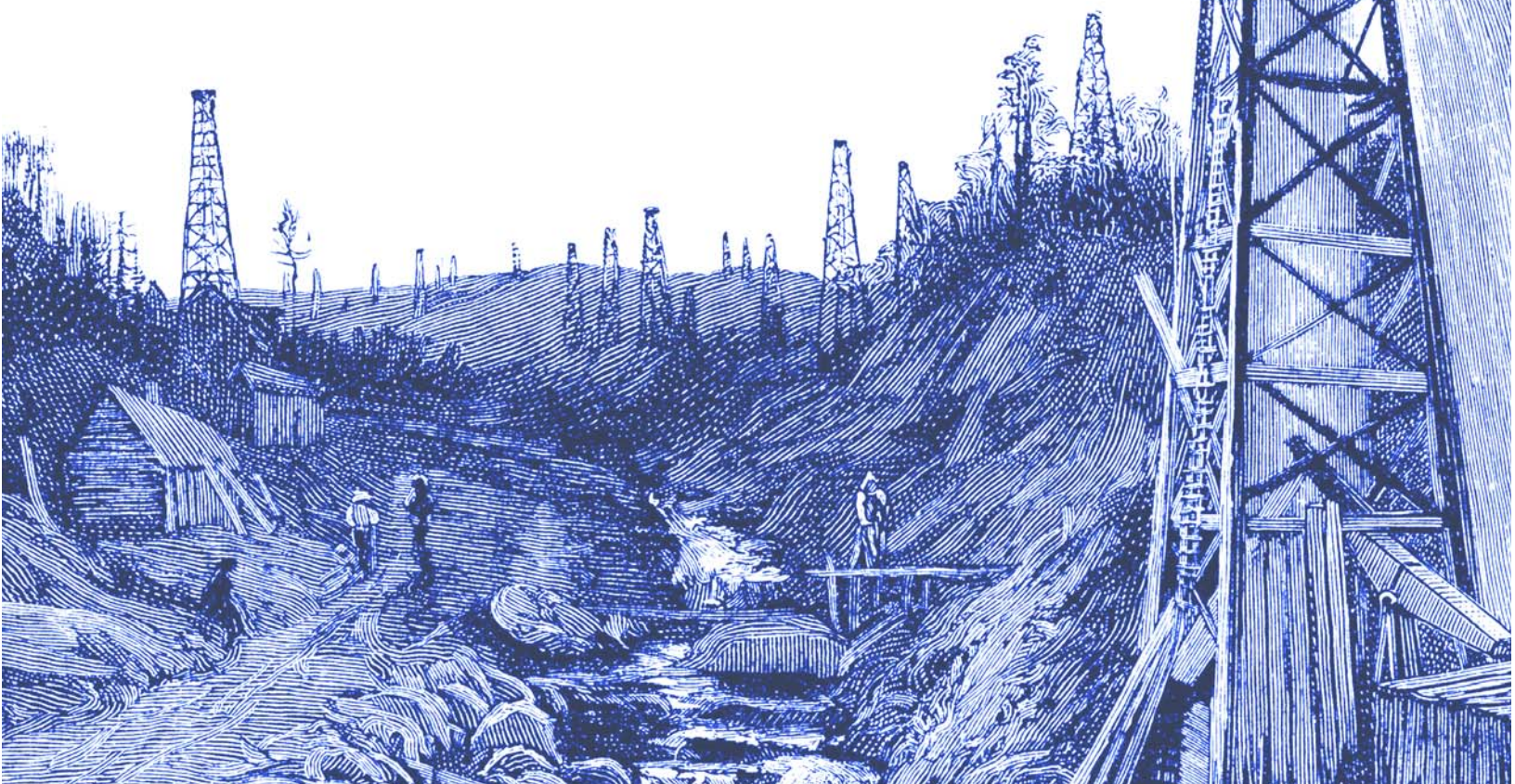
La crisis en puerta

Todo lo anterior señala la inminencia de una crisis. Al paso que vamos, en 2011 dejaremos de exportar petróleo. El país perderá decenas de miles de millones de dólares de divisas por la exportación de crudo, que en gran parte sirven para equilibrar la balanza comercial. Quizá esto suene inocuo, pero la pérdida de la exportación petrolera quiere decir que tendremos problemas para importar lo que requerimos (alimentos entre muchas otras cosas). Y todavía peor: lo más probable es que el decaimiento de la producción de crudo no se detenga en 2011, de modo que nos convertiremos en un importador neto de cantidades crecientes de energía. Si a esto añadimos el impacto de la caída de la renta petrolera sobre las finanzas públicas, el escenario previsible es aterrador.

Éste es un breve bosquejo, desafortunadamente no exagerado, de lo que nos puede pasar de no corregir el paso. La crisis energética que se avecina es extensiva, con variantes, a todo el mundo. Pero a diferencia de las crisis petroleras pasadas, hoy hay alternativas tecnológicas viables y convenientes, y en nuestro caso destacan dos: el viento y el Sol.

Una primera opción: la energía del viento

En buena parte de su territorio, México cuenta con gran potencial eólico para generar electricidad. Destacan el istmo de Tehuantepec y la zona que corre desde el norte de Zacatecas hasta la frontera con los Estados Unidos. En estas zonas hay vientos fuertes y tan estables que alcanzan factores de planta de más del 45 por ciento (el factor de planta de un sitio mide la fracción de la energía generada en promedio por un aerogenerador respecto a la que generaría a su potencia nominal). En comparación, Dinamarca, país pionero en el desarrollo de la energía eólica, tiene un factor de planta de sólo 20 por ciento, y ello no obstante le permite generar 21 por ciento de la energía eléctrica que consume. España, con factores de planta del orden del 25 por ciento, tiene ya instalados 15.1 gigawatts (miles de millones de watts) de aerogeneradores. El potencial eólico de México es muy significativo: el istmo de Tehuantepec tiene potencial para generar 30 gigawatts, y la



zona de Zacatecas hacia el norte podría generar otros 40 gigawatts. El total nacional puede estimarse como mínimo en 100 gigawatts; ésta es una potencia muy grande, del mismo orden que la potencia estimada que requerirá el país en 2018.

Afortunadamente, la tecnología de generación eólica ya está disponible, y compite favorablemente con las fuentes convencionales. La planta eólica de La Venta, Oaxaca, genera electricidad a un costo inferior al de las plantas térmicas de la Comisión Federal de Electricidad. Como consecuencia de las ventajas y factibilidad de aprovechar la energía del viento, el mercado mundial de aerogeneradores ha crecido de modo inusitado. Por ejemplo, la producción mundial de turbinas eólicas alcanzó los 20 gigawatts por año, y crece anualmente 30 por ciento; sólo en 2007 varios países instalaron entre 0.9 (Francia) y 5.2 gigawatts (Estados Unidos).

La generación eólica de electricidad representa otras ventajas para México. Por un lado, es una tecnología con un bajo impacto sobre el ambiente; por otro, la

industria nacional está tecnológicamente capacitada para suministrar al menos 90 por ciento de las partes de las turbinas eólicas. Tampoco es despreciable el impacto en el mercado laboral, ya que la generación eólica produce, por una cantidad de energía eléctrica generada, cinco veces más empleos que la generación mediante combustibles fósiles. Una ventaja adicional es que las plantas de generación eólica varían en tamaño, desde las muy grandes, conectadas a la red eléctrica, hasta las pequeñas, para comunidades aisladas que cuenten con el viento apropiado. Una última ventaja importante es que el tiempo necesario para su construcción e instalación es de menos de año y medio. En comparación, una planta termoeléctrica requiere entre 3 y 5 años. Ésta es una ventaja estratégica, porque contamos con poco tiempo para sustituir el petróleo como fuente interna de energía.

Por su disponibilidad, factibilidad y otras ventajas, el desarrollo energético del país debe incorporar desde el corto plazo y de manera intensiva la generación eólica de electricidad. Desgraciadamente, las pre-



visiones de la Comisión Federal de Electricidad sólo contemplan la instalación de cerca de 2 gigawatts para 2018, cuando bien se podría llegar a diez veces esa cifra. Por ejemplo, con una capacidad eólica para producir 25 gigawatts se generaría 24 por ciento de la energía eléctrica necesaria ese 2018.

Una segunda opción: la energía del Sol

Por su posición geográfica México recibe abundante radiación solar, con una incidencia media de 5 kilowatts-hora por metro cuadrado por día. Sobre un área de 212 kilómetros por 212 kilómetros –0.022 por ciento del territorio nacional– incide suficiente energía solar para cubrir el consumo total de energía del país. El potencial de la energía solar en México es así suficiente para cubrir varias veces su consumo energético actual.

Hay dos formas principales de utilizar la radiación del Sol: mediante colectores que sirven para calentar

agua (aplicación térmica) y por medio de celdas fotovoltaicas que convierten la radiación solar en electricidad (aplicación fotovoltaica).

Los colectores de radiación solar son la respuesta para calentar agua en hogares –se requieren en México aproximadamente 10 metros cuadrados de colectores solares por cada familia– y se pueden usar varias tecnologías disponibles para ello. Lo único necesario para promover la utilización masiva de esta tecnología es un sistema de financiamiento bien diseñado y el apoyo a los productores nacionales de colectores. Conforme los calentadores solares se multipliquen se ahorrarán grandes cantidades de gas LP y natural; en cada hogar, al año y por metro cuadrado instalado, se pueden ahorrar entre 70 y 110 kilogramos de gas, según la tecnología solar que se use. En el calentamiento de albercas en hoteles, el ahorro sería del doble. Además de ser muy limpia y de ahorrar gas, esta tecnología también está soportada en gran proporción por proveedores nacionales, es de rápida instalación y genera muchos empleos.



© NASA

La alternativa fotovoltaica es muy atractiva para generar electricidad, y hay varias tecnologías de fabricación de celdas en el mercado. El costo por megawatt (millón de watts) generado por celdas fotovoltaicas se reduce año con año; la producción mundial de celdas crece a una tasa anual cercana al 60 por ciento, y alcanzó 3.8 gigawatts en 2007. Alemania instala mil megawatts de celdas fotovoltaicas al año; Japón, 300; España, 150 y Francia, 45 megawatts, mientras que en México sólo existen algo más de 20 megawatts de celdas fotovoltaicas instaladas. El adelanto de otros países se debe a que la energía suministrada a la red eléctrica se compra a un precio ventajoso para el productor independiente.

La inmensa mayoría de las celdas en dichos países se instalan en predios que ya están conectados a la red eléctrica. Actualmente generar un kilowatt-hora con fotoceldas cuesta 11 centavos de dólar, costo inferior al de demanda pico suministrada por la Comisión Federal de Electricidad a usuarios de demanda alta. Pero, además, este costo desciende más de 5 por ciento por año, por lo que pronto estará compitiendo con

el costo promedio de generación en plantas de ciclo combinado. Sobra decir que la energía solar es también muy limpia, y que la puesta en marcha y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas produce más empleos, por megawatt instalado, que las plantas convencionales.

La opción fotovoltaica es, por todo lo aquí expuesto, una segunda componente obligada del desarrollo energético de México. Por ejemplo, bien podríamos considerar la instalación de unos 1 600 megawatts en promedio para cada uno de los siguientes diez años, cantidad muy inferior a la que en los próximos años estén instalando los Estados Unidos, Japón y España. La potencia total instalada de 16 mil megawatts generaría 9 por ciento de nuestro consumo en 2018 (véase la Figura 2).

Otras fuentes de energía

Si bien el viento y el Sol son las dos fuentes de energía que conviene impulsar decididamente, hay otras que también merecen mención. La gene-

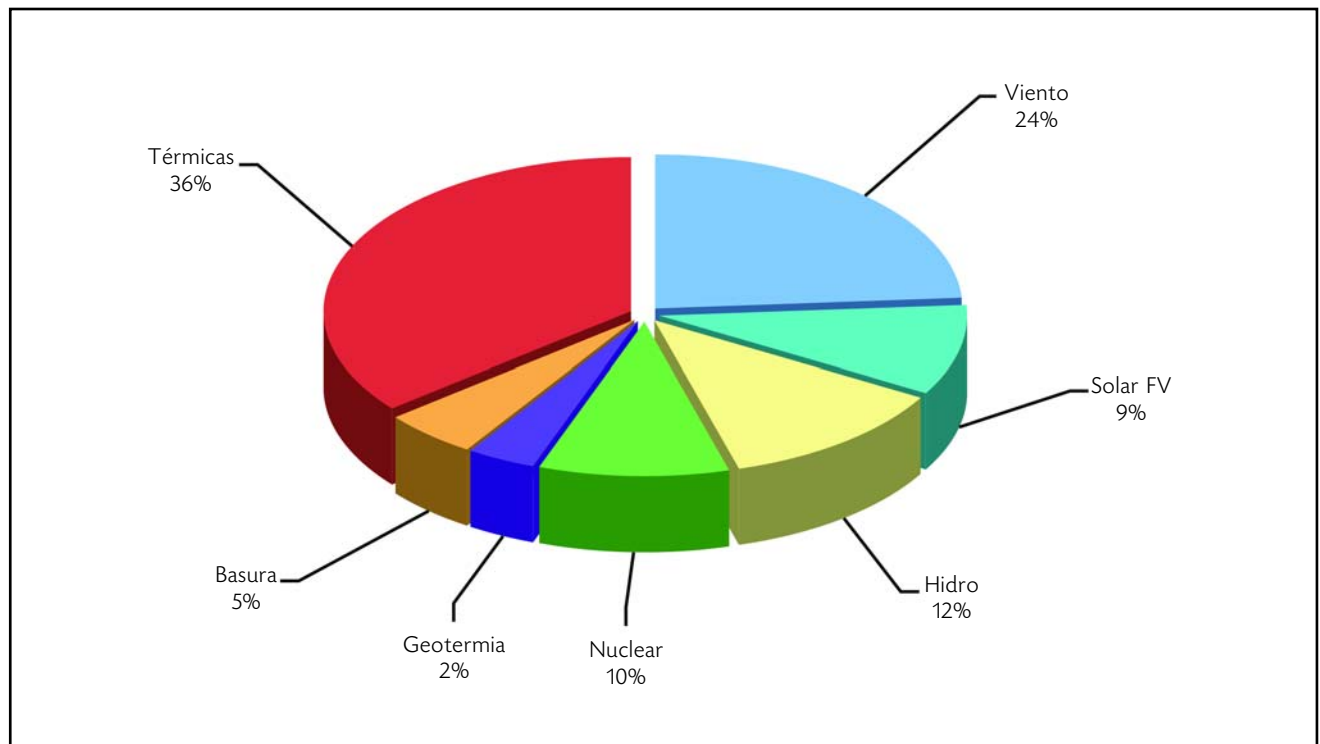


Figura 2. Escenario posible y deseable en el año 2018 para la generación de electricidad en México, por tipo de energético primario utilizado. Los combustibles fósiles comprenden hidrocarburos y carbón.

ración hidroeléctrica, también basada en un recurso renovable, debería impulsarse mediante plantas grandes y pequeñas, para incrementar en 50 por ciento su capacidad actual de 10.5 gigawatts, en los siguientes diez años. Por su parte, la geotermia (aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo) debería duplicarse para pasar de 1 a 2 gigawatts en el mismo lapso. La construcción de un par de reactores nucleares de tercera generación llevaría la capacidad nucleoelectrónica de 1.4 a 4.6 gigawatts. La basura podría también utilizarse para generar energía eléctrica. Por su parte, el carbón se mantendría con la misma capacidad actual, de 2.6 gigawatts. Pero incluso todo ello no sería suficiente para dejar de necesitar petróleo y algo de carbón, ya que en este escenario las termoeléctricas a base de hidrocarburos todavía serían la principal fuente para generar electricidad, con 19.4 gigawatts. Esto, aparte de continuar con la necesidad de hidrocarburos para combustibles y otros petrolíferos, así como materia prima industrial.

Conclusión

Si seguimos enfocados casi exclusivamente en el petróleo como recurso energético del país llegaremos pronto a una crisis de grandes proporciones. La médula de la solución está en iniciar ya un ambicioso programa de energías alternas, comenzando con las energías del viento y solar. Además, para que la solución realmente funcione, debe enfocar el panorama energético completo y de una manera sistémica en sus vertientes de producción, distribución y utilización.

Roger Magar Vincent es físico por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con especializaciones en energía nuclear y óptica. Ha sido subdirector de Promoción de Proyectos de Energía, Transporte y Bienes de Capital en Nacional Financiera, subdirector del Sector de Energía y Petroquímica en la Secretaría de Programación y Presupuesto, asesor del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y del secretario del Medio Ambiente. Es autor de diversos artículos científicos sobre láseres y celdas fotovoltaicas, de tres libros sobre energía y coautor de tres libros sobre ciencia de materiales y cambio tecnológico. Es profesor (jubilado) de las facultades de Ingeniería y Ciencias de la UNAM.
magar01@prodigy.net.mx

Para saber más:

Por su accesibilidad, recomendamos las siguientes páginas de internet (algunas tienen la opción del idioma español):

Association for the Study of Peak Oil; www.peakoil.net. Organismo de profesionales especializados en el estudio de los picos en la producción petrolera de zonas y países. Publica una carta de noticias y diversos estudios.

Energy Watch Group; www.energywatchgroup.org. Grupo alemán serio, riguroso e independiente, dedicado a estudiar y analizar temas de la energía en todo el mundo. Publica en la red valiosos informes sobre diversos temas.

International Energy Agency; www.iaea.org. Organismo internacional de análisis del tema energético. Publica el influyente *World energy outlook*. Difunde los puntos de vista de los países desarrollados.

Sobre energía eólica:

Asociación Danesa de la Industria Eólica; www.windpower.org/es/tour. En español. Muy recomendable y seria. Contiene visitas guiadas a la energía eólica, glosarios, etcétera. Información general sobre energía del viento: www.infoeolica.com. Noticias sobre el aprovechamiento de la energía del viento en España y el mundo.

Sobre energía solar:

Asociación Nacional de Energía Solar; www.anes.org. Asociación civil dedicada a fomentar el conocimiento y utilización de la energía solar. Noticias sobre energía solar: www.solarweb.net.

Fernando del Río Haza es doctor en física por la Universidad de California, Berkeley, y profesor distinguido de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Su especialidad es la termodinámica y la mecánica estadística. Fue presidente de la hoy Academia Mexicana de Ciencias y director de la revista *Ciencia*. Ha publicado numerosos artículos especializados y de divulgación, y varios libros.

fdr@xanum.uam.mx