

EL FUTURO GRIS DEL ORO NEGRO

Implicaciones y alternativas en México

GUILLERMO DAVID LÓPEZ CASTILLO*

Día tras día, de forma inadvertida y sin interrupción, el petróleo es extraído de las entrañas de la tierra. Un volumen equivalente a un río que fluye sin parar se desparrama por el mundo con distinta suerte y destino: los países afortunados reciben la mayoría,

los que llegan tarde al banquete se quedan con los restos. Se trata del energético máspreciado, el oro negro.

Se fue formando en el remoto pasado cuando se acumulaban uno tras otro los millones de años, hasta juntar cuando menos cien. Cuando otras criaturas, otros seres vivientes se disputaban el suelo, el agua y el aire de este planeta. Cuando aún no había rastros de humanidad. Los primeros homínidos aparecieron apenas hace unos seis millones de años, para entonces ya existía el petróleo de nuestro interés. En algún

momento, hace cerca de doscientos mil años, apareció el *homo sapiens*, quien está por desaparecer este combustible en tan sólo dos siglos. Para recuperarlo, si tan sólo se hablara del tiempo de espera, se requerirían al menos otros cien millones de años. Sólo entonces, y si se llegara a contar con ambientes geológicos, biológicos y químicos adecuados, se tendría el petróleo que en el siglo xx se tuvo. Remoto futuro, cuando ya en el mundo no existan ni un solo representante de la humanidad, ni la flora ni la fauna actual. Cuando del *homo sapiens* apenas queden

*Doctor en ciencias, especialista en sistemas dinámicos aplicados a la simulación computacional de flujos de recursos (materia, energía y sus impactos), cambio climático global, desarrollo sustentable y energía nuclear. Es profesor investigador del ITESO.

algunos restos fósiles como vestigio de que alguna vez existió. Cuando de nueva cuenta otros seres vivientes se disputen el suelo, el agua y el aire.

Pero, ¿por qué es tan importante el petróleo? Porque en forma líquida es fuente de energía, lo que facilita su manejo y transporte. Nunca se había dispuesto de algo semejante para conseguir el trabajo y el movimiento de los artefactos fabricados por el hombre.

Por ejemplo, si una persona se pone a pedalear una bicicleta fija, de manera que la rueda se conecte a un generador de corriente eléctrica, puede llegar a encender un foco de 60 watts. Si se suman los watts de los focos que se acostumbran encender en una casa, más los de un refrigerador, una plancha y una computadora, y se les divide entre 60, se tendrá el total de “trabajadores equivalentes” al servicio de un hogar gracias a la electricidad.

Asimismo, un vaso de gasolina contiene, de manera aproximada, la energía desplegada por un hombre a lo largo de una jornada laboral. Si se quieren estimar los “trabajadores equivalentes” que se obtienen debido a la gasolina, se tendrían entonces que contar los litros que una persona utiliza al día y multiplicar ese valor por cuatro. Ese número se sumará a los ya estimados por el consumo de electricidad, y aún faltaría agregar el equivalente al gas de una estufa y al del calentador del agua.

Si estos trabajadores fueran de carne y hueso, ¿qué ocurriría si de pronto se declararan indispuestos?, ¿cuánto bajaría el nivel de vida de quien los utiliza?, ¿cómo cambiaría su vida?

Pero eso no es todo. En esta época habría que sumar también la energía consumida para fabricar un automóvil, la ropa, una casa, además de la energía necesaria en la siembra, cultivo, cosecha, transporte, conservación y procesamiento de los alimentos. La suma haría notar que un ejército de “trabajadores equivalentes” está a nuestro servicio.

La Secretaría de Energía de México reporta que durante el año 2000 cada mexicano consumió en promedio 64.4 miles de millones de joules.¹ Una familia, formada por cuatro miembros,

estaría apoyada por 136 “trabajadores equivalentes”.²

Si cada país no acierta a tomar las previsiones adecuadas cuando el petróleo esté a punto de acabarse, la crisis energética concomitante significará mucho más que dejar el auto en casa y caminar para hacer compras en algún supermercado, o tener que tomar el camión porque no se quiera hacer fila para comprar gasolina cara, escasa y racionada. No se trata de cosas tan simples, que en términos comparativos sólo llegarían a molestias, sino de una pesadilla en la vida real.

El carbón, el petróleo y el gas natural son los combustibles fósiles. Gracias al primero y luego al segundo, la humanidad dejó de ser una sociedad apoyada en la agricultura de subsistencia, a la cual se podría regresar si no se ponen en marcha otras fuentes de energía, muy lejos de la euforia por los *e-business*, los efectos especiales y las realidades virtuales. La realidad, a secas, se impondrá dolorosamente. No queda claro qué ocurriría con los hasta ahora seis mil millones de personas.

La gasolina que consumen los automotores proviene del petróleo extraído por medio de pozos con kilómetros de profundidad. No es un combustible que se fabrique, sólo se consume y en algún momento se acabará. Cada vez que se pone en marcha un automóvil se vacía ese depósito y, a diferencia del tanque de gasolina, no hay manera de llenarlo.

Ahora bien, para estimar el momento en que terminará la época del petróleo, el gas y el carbón, es necesario tener una idea aproximada de las reservas disponibles, las cuales pueden clasificarse en probadas, probables y posibles, y se moverán de un valor a otro según las necesidades políticas y económicas de las naciones involucradas. Por ejemplo, cambiarán su magnitud según los créditos que quieran comprometerse en el extranjero, poniendo a las reservas como aval del préstamo. Sin embargo, a pesar de tantas incertidumbres, pueden estimarse los volúmenes de las mismas.

Una técnica elaborada por M. King Hubbert — que permite estimar cuándo llegará un campo petrolífero a su máxima producción y de ahí al declive — puede aplicarse a la producción total de un país o del mundo.³

1. Secretaría de Energía México. *Balance Nacional de Energía 2000*, consultado en www.energia.gob.mx

2. 64.4 miles de millones de joules equivalen a una potencia de al menos 2,043.17 watts, que al dividir entre 60 y multiplicar por cuatro miembros en la familia da los 136 “trabajadores equivalentes”.

3. **Deffeyes, Kenneth.** *Hubbert's peak. The impending world oil shortage*, Princeton University Press, Nueva Jersey, 2001.

LA MÁXIMA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO EN EL MUNDO Y SU POSTERIOR DECLIVE SE PRESENTARÁ ENTRE EL AÑO 2003 Y, A MÁS TARDAR, 2009

Con dicha técnica, llamada “el pico de Hubbert”, se encuentra que la máxima producción en el mundo y su posterior declive se presentará entre el año 2003 y, a más tardar, 2009. La técnica estima un total de petróleo —la suma del ya extraído más el pendiente de extraer— de dos millones de millones de barriles de petróleo (2.1×10^{12} barriles), del cual ya se habrá extraído cerca de la mitad.

Según esta previsión, el nivel de producción de petróleo descenderá en el año 2060 a un valor semejante al de 1960, con la gran diferencia de la población mundial y de las necesidades de energía (en 1960 había tres mil millones de personas⁴ y en el año 2001 somos seis mil millones).

Richard Duncan reporta al año 2000 como el año pico para México, y que a partir de 2007 la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) producirá más oro negro que el resto de los países no pertenecientes a la organización.⁵ Robert Beck, por su parte, trasfiere hasta 2009 la fecha en que la OPEP iguale la producción del resto de los países productores, China incluida, pero no lo que fue la Unión Soviética.⁶ De esta manera, cuando comience la escasez, las ex repúblicas soviéticas podrían definir de qué lado se inclina la balanza.

Beck cita las reservas de cada país (expresadas en miles de millones de barriles de petróleo, MMB), siendo para Arabia Saudí, 261; Irak, 112; Irán, 89.7; Venezuela, 72.6, y México, 28. Señala que el total de reservas son cercanas a 1,016 MMB de petróleo. El Mar de China podría ser la única fuente de sorpresas a nivel mundial.⁷

La técnica de Hubbert no pretende ofrecer fechas precisas, aún menos si se consideran las incertidumbres de origen en los datos de las compañías y gobiernos. En otro artículo, y para el caso de México, Duncan prevé el año pico en 1996,⁸ mientras Campbells más optimista y supone que será en 1998.⁹ Según

estos autores, México ya llegó a su máxima producción y en el futuro sólo puede contar con la declinación de sus reservas y producción de petróleo. Es importante hacer notar que haber pasado ya por el pico de máxima producción no significa la inexistencia de futuros descubrimientos, si bien la técnica los engloba.

En ese artículo, Duncan estima que el total de petróleo que llegó a existir en el territorio mexicano fue de 35.4 MMB, de los cuales ya se ha extraído 67.5%, y quedan por extraer 11.6 MMB (32.5%). Campbell estima que el total de petróleo mexicano fue de 52 MMB, de los cuales se ha extraído 40.8%, y quedan en el subsuelo 30.8 MMB (59.2%).¹⁰ La gran diferencia en el remanente por extraer, del orden del triple, tan sólo mueve el año pico de 1996 a 1998. En el remanente no extraído se incluye lo ya descubierto y lo que se llegará a descubrir. En opinión de Fabio Barbosa, la única fuente posible de sorpresas en México es Chiapas,¹¹ donde se sabe que hay petróleo, pero no se tiene cuantificado.

En el cuadro 1 se pueden ver las reservas de crudo expresadas en millones de barriles (MB). Nótese que la columna de 1999 presenta valores cercanos a la mitad de lo reportado en 1998, lo cual no significa que se extrajera en un año la mitad de las reservas sino que, después de una revisión realizada de 1996 a 1999, el gobierno mexicano consideró exageradas las estimaciones previas y las redujo a magnitudes técnicamente más confiables. Sin embargo, en el *Balance Nacional de Energía 2000* se reportan reservas de petróleo crudo de 41.5 MMB para 1999, y de 39.2 MMB para 2000 (de nuevo las cifras “antiguas” más grandes).¹²

Barbosa, a diferencia de Duncan y Campbell, concluye con un mensaje de optimismo para los mexicanos, para lo que se apoya en otro tipo de estimaciones llamadas potencial

4. Brown, Lester R. et al. *Vital signs 2000: the environmental trends that are shaping our future*, Worldwatch Institute, Nueva York, 2000.

5. Duncan, Richard C. y Walter Youngquist. *The world petroleum life-cycle*, consultado en www.dieoff.org/page133.pdf

6. Beck, Robert (ed.) *Worldwide petroleum industry outlook. 2001-2005 Projection to 2010*, Penn Well, Tulsa, 2000.

7. Deffeyes, Kenneth. *Op. cit.*

8. Duncan, Richard C. *Mexico's petroleum exports: safe collateral for a \$50 billion loan?*, Institute on Energy and Man, consultado en <http://hubbertpeak.com/duncan/mexoil.htm>

9. *Ibidem.*

10. *Ibid.*

11. Barbosa, Fabio. *Exploración y reservas de hidrocarburos en México*, Instituto de Investigaciones Económicas-UNAM, México, 2000.

12. Secretaría de Energía México. *Op. cit.*

RESERVAS EN MÉXICO		CUADRO 1				
LAS ESTIMACIONES DEL GOBIERNO MEXICANO						
AÑO	1995	1996	1997	1998	1999	
CRUDO _{MB}	43,127	42,146	42,076	41,392	24,700	
CONDENSADOS _{MBPCE}	6,648	6,650	6,400	6,430	3,700	
GASSECO _{MMPC}	68,413	67,668	63,913	63,456	30,064	
GASSECO _{MBPCE*}	11,402	11,278	10,652	10,576	5,011	
RESERVAS PROBADAS _{MBPCE}	63,220	62,058	69,900	60,160	34,180	

* Renglón calculado, agregado a la tabla original.

Nota: Para poder comparar las reservas de petróleo con las de gas seco se agregó a la tabla original el renglón: "Gas seco MBPCE". Para convertir de miles de millones de pies cúbicos (MMPC) a millones de barriles de petróleo crudo equivalente (MBPCE) se considera que 6,000 pies cúbicos de gas equivalen a un barril de petróleo, de ahí que se le denomine "barril de petróleo equivalente" (los valores así obtenidos no reproducen la suma de reservas probadas del cuadro). Fuente: Barbosa, Fabio. *Exploración y reservas de hidrocarburos en México*, Instituto de Investigaciones Económicas-UNAM, México, 2000, a partir de información tomada de publicaciones oficiales mexicanas.

petrolero de México o crudo original *in situ* que, según el gobierno mexicano, es de 276.87 MMB de petróleo,¹³ reservas que resultarían superiores a las reservas actuales de Arabia Saudí de 261 MMB. También puede compararse con el total del petróleo extraído desde los inicios en México, que suma 25.39 MMB, conforme a lo cual sólo se ha extraído 9% de lo que se estima existe en el subsuelo mexicano como crudo original *in situ*. ¡Qué lejos de Duncan o Campbell que suponen que en México se ha extraído 67.5% y 40.8%, respectivamente! Como puede apreciarse, no es asunto simple hablar de las reservas de petróleo, sean de todo el mundo o de un país.

La importancia de un riesgo se mide por la probabilidad de ocurrencia del daño, combinada con la magnitud del mismo. Si llega a terminarse el petróleo mexicano en el corto plazo, la magnitud del daño será tan grande que la más elemental prudencia obliga a tomar en serio las advertencias sobre su posible y muy cercano fin.

El concepto de reserva de petróleo no puede estirarse de manera indefinida, hay un límite en los costos de extracción y otro en la tecnología disponible que precisa cuánta energía hay

que consumir para extraer cada barril. Finalmente, también hay aquí un límite infranqueable narrado en la termodinámica, que hace imposible descubrir tecnología más eficiente más allá del límite dado por la naturaleza. Si para recuperar el petróleo se consume más energía de la que en su momento se obtendrá de su uso, no puede considerarse parte de las reservas.

No importa qué tan creativos seamos y cuánto avance el conocimiento tecnológico, llega un momento en que se consume más energía en la extracción del energético que el recuperable al usarlo. ¿Cuánto del petróleo *in situ* que reporta el gobierno mexicano es recuperable con provecho? No tengo la respuesta.

El balance energético del proceso debe cuidarse no sólo al estimar las reservas sino también al estudiar el ciclo completo. Por ejemplo, si un calentador solar de agua de uso doméstico tiene una vida útil de diez años, la energía obtenida en ese lapso de tiempo debe ser superior a la consumida en la obtención de las materias primas empleadas, más la energía necesaria para la fabricación, montaje y mantenimiento del equipo.

Por ello es indispensable enseñarles termodinámica a las futuras generaciones, para que sepan cómo la naturaleza impone e impondrá sus reglas en este negocio de las energías, llámense actuales o alternativas.

Para resolver problemas energéticos no resulta provechoso elaborar fantasías que ignoran el comportamiento de la naturaleza, o suponer que es posible obligarla a acciones absurdas porque así conviene.¹⁴ O se conocen, estudian y siguen las reglas de la naturaleza o se fracasará en el intento. No hay otro camino. Es también delicado que, al escoger o proponer fuentes alternas de energía, el ambiente universitario suponga que la tecnología es neutral, y que da lo mismo aceptar una u otra según decida el gobierno en turno.¹⁵

EL BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA

El *Balance Nacional de Energía 2000* reporta en ese año para México (sin incluir las exportaciones) un consumo de energía primaria basada en los combustibles fósiles de 85.2%, con la

13. Barbosa, Fabio. *Op. cit.*

14. López Castillo, David. "La magia, lo complejo, los sistemas sociales y la naturaleza", en *Renglones*, núms. 41-42, ITESO, Guadalajara, 1998.

15. López Castillo, David. "La universidad y el cambio tecnológico", en *Renglones*, núm. 21, ITESO, Guadalajara, 1991.

PARA RESOLVER PROBLEMAS ENERGÉTICOS NO RESULTA PROVECHOSO ELABORAR FANTASÍAS QUE IGNORAN EL COMPORTAMIENTO DE LA NATURALEZA

siguiente distribución: carbón, 5.4%; condensados, 2.7%; gas natural, 34.4%, y el petróleo crudo, 57.5%. Los porcentajes manifiestan, sin lugar a dudas, en qué medida le afectará al país lo que ocurra con el petróleo.

Así también, como energía primaria, en México la leña aporta 4.5%, mientras que el bagazo de caña 1.5%; en cambio, la energía nuclear 1.6%, la geotérmica 1.1%, y la energía eólica 0.0013%. Sólo la energía hidráulica, que suministra 6.1%, puede competir con la suma de lo aportado por la leña y el bagazo de caña. Por otra parte, el mismo estudio reporta para México la siguiente distribución en el consumo final de energía: transporte, 42.5%; industrial, 32.5%; residencial, comercial y servicio público, 22%, y agropecuario, 3%.

Si para abandonar gradualmente los combustibles fósiles en México se lograra que todos los hogares mexicanos consumieran de manera exclusiva energía solar producida en casa, no tan sólo para obtener agua caliente de la regadera sino también la electricidad requerida en la iluminación, planchado, refrigeración, lavado, televisión, equipo de sonido, y sustituyendo el gas en la cocina, se lograría resolver menos de la quinta parte del problema.¹⁶ Si en una alternativa más limitada sólo se considera el agua caliente usada en todas las casas a partir de calentadores solares, se resolvería cerca de 5%.

En cualquiera de los casos sería un logro significativo y se reflejaría en la magnitud del esfuerzo para producir, financiar, instalar y mantener funcionando dichos equipos en todos los hogares del país, pero supondría un ejército de profesionistas y técnicos especializados en la producción, operación y mantenimiento de esas nuevas tecnologías. ¿Qué universidades y tecnológicos capacitarían a todo ese personal?, ¿ya se escogió la tecnología apropiada?, ¿la escogería el mercado?, ¿quiénes pondrían en marcha los trenes de producción de esos artefactos?, ¿quiénes los venderían?, ¿cuándo iniciaría el mercado el proceso?, ¿llegará oportunamente la decisión? Hay más preguntas que respuestas. Pero en el escenario de un petróleo escaso —por mucho que nos preocupemos

por resolver el consumo energético en los hogares— aún faltaría resolver algo así como 80% del problema, porcentaje más que suficiente para provocar el colapso del país.

Por otra parte, en el caso de que en el transporte fuera necesario abandonar el uso de combustibles fósiles y que se usara la electricidad, sería necesario prever la inversión para sustituir autos, camiones y trenes, y su infraestructura correspondiente. Todas las gasolineras del país tendrían que ser relevadas por estaciones de suministro eléctrico, o transferir esa función de recarga a las casas habitación, y los talleres mecánicos de combustión interna cambiarían a mantenimiento de autos con tracción eléctrica. ¿Cuánto costaría?, ¿cuánto tiempo se necesitaría para hacer el cambio? En un escenario optimista dispondríamos del siglo XXI. Y después de resolver el problema del hogar, comercio y transporte faltaría todavía lo correspondiente al sector industrial y agropecuario, que actualmente suma 33% del total.

INVERSIONES NECESARIAS

El *Balance Nacional de Energía* en México estimó para el año 2000 un consumo final equivalente a un millón de millones de kilowatts-hora en el país.¹⁷ Si a partir de ese dato se hace un ejercicio de aritmética para estimar la magnitud de los problemas, y se divide entre el total de horas que tiene un año, se obtiene como resultado unos 118 mil millones de watts (118,000 megawatts, MW) de potencia equivalente al consumo energético, siendo éste, con mucho, el valor mínimo a considerar en este ejercicio.¹⁸

El costo del equipo usado en la generación de energía se considera —para las tecnologías ya maduras en el mercado— del orden de un dólar por cada watt instalado (la electricidad obtenida a partir de fotoceldas actualmente cuesta de tres a cuatro dólares por watt instalado). Si se deseara instalar una serie de plantas generadoras de energía, equivalente al menos a lo que se tiene en la actualidad, en el más optimista de los casos

16. Menos de 22% del cambio mexicano a otras fuentes de energía. Lo usado en el comercio y servicio público completaría ese porcentaje.

17. El *Balance Nacional de Energía* en México estima para 2000 un consumo final de 3,801.406 petajoules (los valores no cambian súbitamente, en 1997 el consumo final fue de 3,713.423 petajoules, el cual es igual a 10^{15} joules y 1 kilowatt-hora es igual a 3.6×10^6 joules). Presentar el total en kilowatts-hora no significa que todo se consuma en forma de electricidad. Al hacer aquí estos cálculos se presenta en una sola unidad de medida todos los diferentes recursos de energía utilizadas en 2000.

18. Faltaría incluir distribuciones horarias y estacionales de carga, así como diversos tipos de pérdidas y limitaciones de eficiencia requeridos en el cálculo formal, en lugar de éste que es una aproximación con fines ilustrativos.

habría que gastar 118 mil millones de dólares. Cabe insistir que este ejercicio aritmético sólo incluye las plantas generadoras, sin considerar diversas pérdidas por transmisión y eficiencia; aparte estarían los recursos financieros necesarios para la instalación de redes de distribución, cambio de equipos y maquinaria domésticos, industriales y de transporte, sin incluir el crecimiento demográfico e industrial del país.

Si el dinero necesario proviene de un financiamiento externo, casi con seguridad el aval serían las reservas petroleras, que se necesitan en la marcha ordinaria del país y que proveerán la energía indispensable para lograr el cambio a otro recurso energético, mismas que podrían estar ya en su etapa final. ¿Cuál será el endeudamiento propuesto por el gobierno federal y por los partidos políticos?, ¿cuántos MW proponen instalar con ese dinero?, ¿cuál será la tecnología que se instale?

Las cifras y preguntas que aquí se presentan enfatizan la magnitud del reto económico al cual se enfrenta el país en lo que se refiere a los energéticos, independientemente de cuál sea la alternativa energética seleccionada. No hay escape ni solución mágica asociada a un cierto tipo de fuentes alternas de energía que simplifique el problema. La infraestructura energética está anclada al petróleo y pronto se necesitará abandonarla. La segunda dificultad en magnitud sería preparar, en el mejor de los casos en unas cuantas décadas, los miles de profesionistas y cuadros técnicos necesarios.

EL CARBÓN Y EL GAS NATURAL

Por lo general, cuando se habla de fuentes alternas de energía, se presuponen novedosas y ajenas a los combustibles fósiles. La energía eólica es la fuente de ese tipo con más desarrollo. En 1999 se tenía instalada en el mundo una potencia total de 13,840 MW por medio de generadores eólicos, con un crecimiento,

de 1998 a 1999, de 3,900 MW.¹⁹ Si se mantiene el ritmo de crecimiento actual, 10% de la electricidad mundial se generará por medio del viento en 2020. ¡Tan sólo 10%, y eso en lo concerniente a la electricidad! Si en verdad se está a punto de terminar con el petróleo nacional, la energía eólica no será el remplazo oportuno. Más vale cuidar lo que ocurre con el carbón y el gas.

A fines del año 2001 México tenía 2.5% de las reservas mundiales de petróleo,²⁰ 0.5% de las de gas natural y 0.1% de las de carbón.²¹ Quienes tienen más gas natural son la Federación Rusa (con 30.7% de las reservas mundiales) e Irán (14.8%); y quienes tienen más carbón son Estados Unidos (25.4%) y la Federación Rusa (12.7%).

En términos de barriles de petróleo equivalente, las reservas de México son: gas, cinco MMB; carbón, seis MMB; petróleo, 26.9 MMB. El carbón es, con mucho, el energético más abundante que puede sustituir al petróleo, sin embargo, habrá mucha presión internacional para que no ocurra así, debido a los efectos ambientales que podría provocar. Al respecto puede citarse que:

► El clima está cambiando y la simple posibilidad, cada vez más fundamentada, de que el incremento en la cantidad de bióxido de carbono en la atmósfera sea causa y no efecto del cambio climático global, hace que se tema el uso de combustibles fósiles y se busquen alternativas.²²

► Los cambios climáticos están derritiendo las capas de hielo en el mundo.²³ Si la capa de hielo Ross Ice Shelf de la Antártida se colapsa, podría provocar el levantamiento del nivel del océano en cinco metros.²⁴ Con una mucha menor elevación del mar, la mitad de la humanidad que vive en las zonas costeras quedaría afectada.

► En el Polo Norte, la fusión excesiva del Ártico —que ha reducido su espesor de 3.1 metros a 1.8— puede provocar que la corriente del Golfo se interrumpa antes de llegar al Atlántico

19. Brown, Lester R. et al. *Op. cit.*

20. BP *Statistical Review of World Energy 2002*, consultado en www.bp.com/centres/energy2002/2002inreview.asp

21. Al final de 2001 México tenía 26.9 MMB de petróleo crudo de un total de 1,050.0 MMB mundiales; de gas natural 29,500 MMPC de los 5,476,700 MMPC mundiales; de carbón 1.211 millones de toneladas de los 984,453 millones de toneladas mundiales.

22. Hermosillo Villalobos, Juan Jorge y David López Castillo. "El futuro energético", en *Renglon*, núm. 41-42, ITESO, Guadalajara, 1998.

23. Nemiroff, Robert y Jerry Bonnell. *Antarctic Ice Shelf Vista*, consultado en <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap020527.html>

24. Las capas de hielo en la Antártida, de nombre Larsen A y Larsen B, con una superficie superior al tamaño del estado de Colima, ya desaparecieron. Los científicos están monitoreando la capa de hielo llamada Ross Ice Shelf, mucho más grande, del tamaño de Francia. Si se colapsa, podría provocar el levantamiento del nivel del

Norte, lo que podría bajar la temperatura promedio de Europa más allá de los registros históricos.

Para los mexicanos, escoger el carbón como fuente de energía sería depender de un recurso en el extranjero, puesto que aquí no hay yacimientos significativos. No parece pues que este combustible fósil sea la mejor alternativa.

El potencial total del territorio mexicano para el gas natural *in situ* es de 39 MMB de petróleo equivalente *in situ*, del cual ya se ha extraído 19%.²⁵ En la versión optimista de las cifras, y si se saben administrar bien los recursos remanentes, las siguientes dos generaciones de mexicanos usarán el gas natural y el petróleo, ¿y después?

LA ENERGÍA NUCLEAR

Las reservas mundiales estimadas de uranio recuperable (expresado como U_3O_8) son de 3'340,000 toneladas.²⁶ Australia tiene 27%; Kazajstán, 17%; Canadá, 15%, y Sudáfrica 11%. México, con sus 10,600 toneladas de reservas probadas,²⁷ tiene 0.3% del total mundial (sus reservas probables son de 31,800, mientras que las potenciales de 225,000 toneladas).

Para satisfacer por medio de reactores nucleares los 118,000 MW, equivalentes a toda la potencia nacional, se consumirían cada año 26,432 toneladas de las reservas de uranio.²⁸ En ese escenario de "todo nuclear" las reservas probadas de uranio

alcanzarían para 4.8 meses, las probables para un año y tres meses, y las potenciales para ocho años y medio. El uranio en México duraría mucho menos que la expectativa actual del petróleo nacional. Esto, por supuesto, si la estimación de las reservas potenciales fuera acertada y si se pusieran en marcha 118 reactores nucleares de 1,000 MW cada uno.

Suponer la construcción en México de 118 reactores nucleares es un ejercicio bastante artificial. Nadie sugiere que se use un solo recurso energético como sustituto del petróleo. La energía nuclear se utilizaría en todo caso de manera mucho más limitada y con otros inconvenientes: los 118 reactores nucleares producirían 3,186 toneladas anuales de combustible agotado, que conservarían una radioactividad remanente de 134 millones de Curies después de cien años.²⁹ Ese combustible agotado contendría suficiente plutonio para fabricar cada año 76,000 bombas nucleares como la arrojada sobre Nagasaki. Es remoto que se propicie la proliferación de los reactores nucleares en el mundo, y queda claro que el uranio no reemplazaría al petróleo en México.

Aunque existen otros tipos de reactores nucleares, que no es posible citar en este artículo,³⁰ cabe mencionar que la energía nuclear de fusión llega tarde para resolver el problema de la escasez del petróleo. El primer reactor de fusión operará, en el mejor de los casos, en el año 2025,³¹ y usará una tecnología que requiere de litio como fuente de combustible.³²

océano en cinco metros (no tanto porque el hielo que flota, al derretirse, eleve el nivel del mar, sino porque su desaparición permitiría el colapso de capas de hielo que actualmente están en la superficie de la Antártida).

25. **Barbosa, Fabio.** *Op. cit.* Gas natural mexicano *in situ* en MMPC: reservas probadas, 190,344; reservas probables, 18,053; reservas posibles, 24,177; total, 232,574; volumen ya extraído, 43,549; porcentaje extraído, 19%. Si 6,000 pies cúbicos equivalen a un barril de petróleo, entonces el potencial de gas natural de México es de: 39 MMB de petróleo equivalente *in situ*.

26. Uranium Information Centre Ltd. *Australia's Uranium*, consultado en <http://www.uic.com.au/ozuran.htm>

27. **Rojas Nieto, José Antonio.** *Desarrollo nuclear de México*, UNAM, México, 1989.

28. World Nuclear Association. *The nuclear fuel cycle*, www.world-nuclear.org/info/info3.htm; wise Uranium Project, consultado en www.sociamedia.nl/-wise/uranium/rup.html. En todo momento hay 72 toneladas de uranio enriquecido en un reactor nuclear de agua ligera de 1,000 MW, y cada año se reponen 27 toneladas de dióxido de uranio (que contienen 24 toneladas de uranio enriquecido y que provienen de unas 224 toneladas de uranio natural). Esas 27 toneladas anuales de combustible agotado contienen 0.24 toneladas de plutonio (240 kilogramos de plutonio), 0.72 toneladas de productos de fisión y 184 kilogramos de uranio 235.

29. Un Curie es una unidad de radioactividad, se aplica a una cantidad de material radiactivo que emite 3.7×10^{10} (37,000'000,000) transiciones nucleares espontáneas cada segundo. Es también la actividad de un gramo de radio-226. La cantidad de Curies remanentes después de cien años no es el motivo de preocupación, ya que aún las rocas que nos rodean tienen elementos radiactivos en baja concentración. Lo preocupante es que esa radiación se encuentra concentrada en un pequeño espacio físico: las barras del combustible nuclear.

30. World Nuclear Association. *Op. cit.*; López Castillo, David. "¿Es necesaria la energía nuclear? Parte I", en *Carta Económica Regional*, núm.45, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 1995; "¿Es necesaria la energía nuclear? Parte II", en *Carta Económica Regional*, núm.49, Universidad de Guadalajara, 1996.

31. **Ariza, Luis Miguel.** "Burning times for hot fusion", en *Scientific American*, Scientific American Inc, Nueva York, marzo de 2000, consultado en <http://www.sciam.com/issue.cfm?issueDate=Mar-00>

32. Fusion and Plasmas Group. *Fusion-physics of a fundamental energy source*, Princeton Plasma Physics Laboratory, Nueva Jersey, 2000, consultado en <http://>

OTRAS FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA

La solución al agotamiento del petróleo no depende de un solo recurso energético sino de la suma de muchos y muy diversos,³³ y ésa es quizá la principal conclusión. Se debe incrementar la presencia de opciones y tener en mente que el problema es a gran escala y no se resolverá con respuestas domésticas sino con aquéllas que se realicen de manera masiva y universal. Aun en este caso, el costo total y las dificultades tecnológicas y económicas serían similares a las requeridas en otras alternativas. Poner en marcha a gran escala las fuentes alternativas de energía suficientes como para remplazar al petróleo no es asunto de improvisaciones ni de ingenuidades, es asunto que requiere de ingeniería. El tiempo urge y los recursos escasean.

La energía eólica y las celdas fotovoltaicas son a la fecha las opciones más prometedoras.³⁴ Para estas tecnologías se debe considerar el consumo masivo de energía en la fabricación de los rotores de aluminio y la separación del silicio para las fotoceldas. En ambos casos, dadas las propiedades de estos elementos químicos, no es poca la energía requerida.

La alternativa eólica es intensiva en mano de obra, característica muy útil en México. Bien vale la pena revisar los planes de estudio en las carreras de ingeniería mecánica para capacitar con más detalle en el manejo de esta fuente energética. En la actualidad se explora el uso de pequeñas estaciones eólicas generadoras de electricidad,³⁵ lo que hace ver la conveniencia de estudiar una legislación que permita y dé incentivos al cooperar con pequeñas instalaciones a la red eléctrica nacional. Otras fuentes pueden tener alcance local. Por ejemplo, en algunas regiones se pudiera cultivar caña de azúcar para utilizarla como combustible, lo que no sería conveniente a escala nacional por la falta de tierra fértil y de agua para cultivar alimentos. Así también, en otros lugares podría obtenerse energía a partir de las mareas.

La energía hidroeléctrica, que en México alcanzó 6.4 millones de toneladas de petróleo equivalentes en el año 2001,³⁶

no se puede incrementar como alternativa para sustituir al petróleo. El agua en las presas se disputa en la generación de electricidad, para irrigación y para producir comida. Las pequeñas estaciones generadoras, en pequeños bordos, pueden usarse como apoyo adicional, pero son un ejemplo citado para resaltar la existencia de los efectos colaterales: ¿qué hacer y cómo controlar esos bordos criaderos de mosquitos?

Se puede concluir que la fuente alterna de energía más fácil, barata y a nuestro alcance en este momento es el aumento de la eficiencia en el uso de las fuentes actuales, ya que cada barril de petróleo ahorrado da tiempo para lograr el ansiado cambio.

En este artículo es premeditado el énfasis sobre el agotamiento del petróleo. Las inercias sociales e intereses económicos son tan grandes como la ignorancia social sobre la magnitud del conflicto. Pareciera en ocasiones que la transición es asunto de buenas voluntades y que para lograrla se dispone de todo el tiempo. Este texto bien pudo ser un listado de optimismo, que hiciera sólo mención de los cientos de centros —reflejados en la Internet— que a nivel mundial trabajan sobre las nuevas energías. Muchos de ellos son el resultado de esfuerzos profesionales serios, aun heroicos. Luces de esperanza en un horizonte lleno de nubarrones. Pero eso dista mucho de ser suficiente para resolver el problema. Y aunque de alguna manera se resolverá, la clave es encontrar el camino que permita en México y el mundo el mínimo sufrimiento, conflicto social, guerras, pobreza y muerte. En la búsqueda de las nuevas fuentes de energía no basta con saber a dónde se quiere llegar y confirmar la seguridad del lugar a donde se llegaría —asunto que aún no está claro—, es igual de necesario saber con qué se dispone y cómo se va a llegar.

Se debe tomar conciencia de que el abandono del petróleo como fuente de energía se va a realizar en un contexto de crisis y, si para desgracia resulta ser real que tan sólo quedan dos o tres décadas de petróleo mexicano, entonces se estaría ante una tragedia anunciada. ■

FusEdWeb.pppl.gov/CPEP/chart.html. En la primera generación de reactores de fusión, la reacción será deuterio más tritio igual a helio-4 más un neutrón. El neutrón más litio-6 dará helio-4 más tritio, que a su vez reaccionará con un núcleo de deuterio.

33. www.world-council-for-renewable-energy.org/

34. Brown, Lester R. et al. *Op. cit.*

35. Dunn, Seth. "Micropower: the next electrical era", en *Worldwatch paper*, núm.151, Worldwatch Institute, Washington, 2000.

36. BP *Statistical Review of World Energy 2002. Op. cit.*



AUTORRETRATO. TINTA, 38 x 28 cm, 2000.