

¿Se acaba el petróleo?

ROBERTO CANOGAR*

RESUMEN

El funcionamiento de las sociedades desarrolladas, tal y como lo conocemos en la actualidad, depende crucialmente del petróleo. En este artículo se recogen una panoplia de indicios, evidencias y argumentos que respaldan la tesis según la cual se está alcanzando ya el "cenit del petróleo" (el denominado *peak oil*). El descenso de la oferta de esta fuente de energía obliga a buscar alternativas, algunas de las cuales se exploran aquí. En todo caso, ahorrar energía y aumentar la eficiencia del consumo energético representan las opciones más prometedoras ante el desafío que plantea el declive en la producción petrolífera.

1. INTRODUCCIÓN: ¿PODEMOS CALCULAR CUÁNDO SE AGOTARÁ EL PETRÓLEO?¹

En los medios de comunicación a menudo aparecen titulares que indican que el carbón se agotará en 200 ó 250 años, el uranio en 70 ó 90 años, el gas natural en 60 ó 80 años, y el petróleo en 40 ó 50 años. Estas afirmaciones pueden interpretarse como que habrá suficiente petróleo hasta dentro de 40 años. Hagamos el cálculo nosotros mismos. Como fuente de datos puede utilizarse el *BP Statistical Review of World Energy* de junio de 2006. Un

* Profesor del Departamento de Matemáticas de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (rcanogar@mat.uned.es).

¹ Agradezco a Alberto Borobia la revisión del texto, a Mariano Marzo la ayuda para detectar errores técnicos, y a Carmen Carreras por darme la oportunidad de escribir sobre estos temas en la revista 100cias@uned de la UNED.

barril de petróleo son 159 litros aproximadamente. En el año 2005 se consumieron unos 30 mil millones de barriles de petróleo o 30 Gigabarriles (GB). Las reservas son de 1.200 GB. Con el consumo de 2005, el petróleo se agotaría en 40 años ($1200/30 = 40$), esto es, en el año 2046. Pero sería más realista tener en cuenta un incremento anual en el consumo del 2 por cien, que es el que se ha registrado en las últimas décadas. Entonces el cálculo da 31 años, es decir, el petróleo se acabaría en el año 2037.

Este cálculo carece de sentido por tres razones:

1. No se dispone de las reservas de combustibles fósiles como se dispone de la gasolina en el depósito de un coche. La velocidad con la que se dispone del petróleo de un yacimiento tiene unos límites. Se suele imaginar un yacimiento básicamente como una única cueva subterránea llena de petróleo, pero nada más lejos de la realidad. El petróleo se encuentra entre los huecos de una "roca almacén" ocupando típicamente un 5 por cien de su volumen (esto es lo que se denomina la porosidad) y a unas profundidades del orden de tres kilómetros. La cantidad de energía que se necesita para bombear petróleo a tres kilómetros de profundidad y con un rozamiento enorme depende de la velocidad de extracción. A partir de cierta velocidad de extracción, la energía necesaria para bombear es mayor que la del petróleo que se recupera. Y es más fácil bombear el petróleo inicial, que está cerca de la base del "tubo", que el posterior, que está lejos. Este fenómeno es bien conocido por los aficionados a los granizados de limón.

Al perforarse el primer pozo de un yacimiento, el petróleo fluye hacia arriba porque se encuentra atrapado a presión. Cada pozo perfora-

do aumenta la producción, aunque cada vez menos, y como los pozos son caros, llega un momento que no compensa perforar más. La producción del yacimiento llega a su máximo tras aproximadamente uno o dos años, y ahí se estabiliza durante unos cuantos años. Cuando el petróleo deja de fluir hacia arriba, resulta necesario bombearlo para continuar con la producción. Los pozos que explotan las zonas del yacimiento más pobres se agotan, e inevitablemente empieza un largo declive. Para ralentizar el declive se inyecta agua por algunos pozos, para que ésta "barra" y empuje parte del petróleo restante hacia la base de otros pozos.

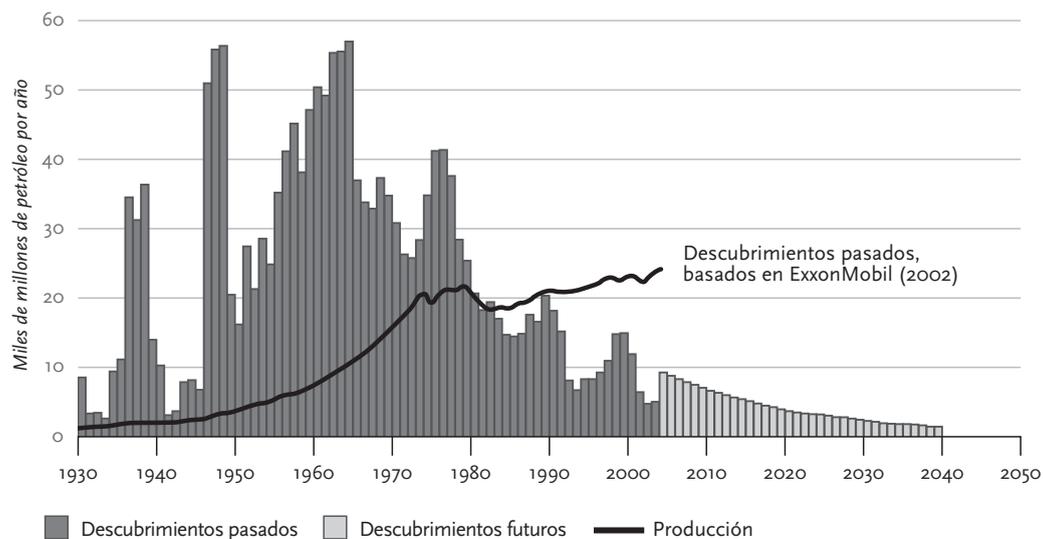
2. A veces es posible recuperar más petróleo de los antiguos yacimientos mediante nuevos métodos de extracción; no en vano típicamente sólo se recupera entre el 35 y el 50 por cien del petróleo de un yacimiento. Pero, como ya se mencionó antes, en el proceso de explotación de un yacimiento llega un momento en que recuperar pequeñas zonas aisladas del resto no compensa a ningún precio porque la energía necesaria es mayor que la que se obtiene del petróleo recuperado. Por tanto, no debería extrañarse que actualmente no se recupere ni la mitad del petróleo original. Reiteradamente Matthew Simmons

(autor del libro *Twilight in the Desert*) ha afirmado que los grandes avances en la extracción de petróleo, como la visualización en tres dimensiones de los yacimientos y los pozos horizontales, se desarrollaron en los años ochenta, mientras que en los últimos veinte años no se ha desarrollado ninguna tecnología nueva, ni siquiera se experimenta nada nuevo. La inversión que la industria ha dedicado a la investigación en el siglo XX ha sido fabulosa y ya ha dado sus resultados. Parece que los grandes progresos en esta materia son cosa del pasado. Por tanto, es razonable suponer que las estimaciones sobre la cantidad de petróleo que se recuperará en el futuro de los yacimientos conocidos no van a variar demasiado.

3. Cada año se descubren nuevos yacimientos. Según un informe de IHS (una de las consultoras energéticas más importantes), en todo el año 2005 se descubrieron yacimientos con reservas de 4,5 GB. Cabe recordar que actualmente se consumen 30 GB al año, que hace veinte años fue la última vez que se descubrió más de lo que se consumió, y que hace cincuenta años se descubrían 30 GB y se consumían 4 GB. El gráfico 1 refleja perfectamente esta situación.

GRÁFICO 1

LA BRECHA CRECIENTE. DESCUBRIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO CONVENCIONAL



Fuente: ASPO (The Association for the Study of Peak Oil&Gas).

La tecnología es la que ha posibilitado el acceso a lugares antes inaccesibles. La última gran oleada de descubrimientos tuvo lugar a finales de los años setenta, cuando empezaron a explotarse yacimientos en aguas poco profundas. Destaca la zona del mar del Norte, en la que Inglaterra y Noruega se repartieron la mayoría de los yacimientos, lo que les trajo súbitamente una gran riqueza. Ahora se asiste, en cambio, a descubrimientos mucho menores de yacimientos en aguas muy profundas (más de tres kilómetros) y a grandes profundidades por debajo del suelo marino (más de cuatro kilómetros). Este tipo de descubrimientos se dan principalmente en el golfo de México, el golfo de Guinea y en aguas de Brasil. Las dificultades y el coste de bombear petróleo desde profundidades superiores a los siete kilómetros en aguas bravas y atestadas de huracanes, como el golfo de México, son tremendas. Puesto que los yacimientos, por razones geológicas, no se pueden encontrar lejos de la costa, se están acabando las zonas en las que buscar petróleo. Las últimas que faltan por explorar exhaustivamente son los casquetes polares, que se convertirán en cierto modo en "el último botín", aunque no se anticipan hallazgos espectaculares.

El patrón es claro y lógico: primero se explotó el petróleo más accesible en tierra y en países industrializados, ahora se busca y explota en el mar por todo el mundo y en los polos. También es importante destacar que primero se recuperó el petróleo de más calidad. En efecto, la calidad media del petróleo que se recupera ha descendido significativamente en las últimas décadas.

2. ¿QUÉ SON RESERVAS PROBADAS?

Como se mencionó al principio, las reservas probadas de petróleo son de 1.200 GB. El adjetivo "probadas", término que utiliza la industria, adquiere un significado muy diferente dependiendo de quién tenga las reservas. Si se trata de las reservas de empresas que cotizan en la bolsa de un país de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, compuesta por los treinta países más desarrollados), entonces la contabilización de las reservas tiene una metodología muy concreta y, por lo general, conservadora, que es regulada por la CNMV (Comisión Nacional del Mercado de Valores) en España y por la SEC (*Securities and Exchange Commission*) en los Estados Unidos. Además, estas reservas probadas están sujetas a auditorías. Las reservas de una petrolera que cotiza en

bolsa suponen su activo más importante y, por tanto, existe la tentación a exagerarlas, dentro de lo legal y, a veces, fuera de lo legal. Dos casos recientes parecen confirmarlo. En el año 2002 Shell tuvo que reducir sus reservas un 23 por cien tras ocultar durante cinco años que uno de sus yacimientos más importantes, Yibal en Oman, estaba agotándose prematuramente. Y a principios del año 2006 Repsol se vio obligado a reducir sus reservas en un 25 por cien tras ser auditado.

Pero, en realidad, la mayoría de las reservas están en países que no pertenecen a la OCDE y no son auditadas, en especial los miembros de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Estos once países tienen un sistema de cuotas (para determinar lo que exporta cada uno) que, en parte, depende de sus reservas. Por tanto, también tienen incentivos para exagerarlas. Sólo seis países de la OPEP (Arabia Saudí, Irán, Iraq, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos (EAU) y Venezuela) tienen unas reservas de 796 GB, o lo que es equivalente a las dos terceras partes de las reservas mundiales. Todas estas reservas, excepto los casi 80 GB de Venezuela, están en una zona diminuta del planeta, alrededor del golfo Pérsico, en la que se está extrayendo petróleo de forma masiva desde hace sesenta años.

El caso de Arabia Saudita, que tiene el 22 por cien de las reservas mundiales, resulta ilustrativo. Este país es bien conocido para las petroleras americanas; de hecho la empresa de Rockefeller, *Standard Oil*, fue la que descubrió sus seis yacimientos importantes (el primero en 1940). La empresa negoció una concesión para la explotación de sus pozos hasta el año 1979. En los últimos diez años sobreexplotó sus yacimientos, y en concreto en el último año llegó a superar los diez millones de barriles diarios, cota que Arabia Saudita no ha vuelto a alcanzar. En 1978 los americanos estimaron las reservas restantes en 100 GB. Al año siguiente los árabes tomaron el control de sus pozos y elevaron inmediatamente las reservas hasta los 166 GB. Hasta el año 1988 no volvieron a elevar las reservas, esta vez alcanzando los 260 GB. Las reservas de Arabia Saudita en los últimos diecisiete años se han estabilizado y actualmente son de 264,2 GB, a pesar de haber producido 58 GB en ese período. Además, en estos últimos treinta años Arabia Saudita no ha registrado ningún descubrimiento de importancia. Por tanto, la única explicación de los incrementos tiene que ser el aumento de la recuperación de petróleo en sus yacimientos. Pero los años ochenta del siglo XX fueron especialmente optimistas: Iraq triplicó sus reservas entre 1981 y 1987, Kuwait las aumentó un 38 por cien en 1984, Venezuela casi las duplicó en 1985, y en 1986 los

EAU prácticamente las triplicaron, mientras que Irán las incrementó un 57 por cien y Arabia Saudita aproximadamente un 50 por cien en 1988. Así pues, en conjunto, estos seis países aumentaron sus reservas un 85 por cien en siete años (y las mundiales aumentaron un 50 por cien).

3. ¿DE DÓNDE VIENE EL PETRÓLEO?

En nuestro planeta, la energía solar es la que aporta la energía necesaria para la vida. Algunos organismos vivos, como las plantas verdes, pueden tomar la energía directamente del sol a través de la fotosíntesis. Las plantas verdes transforman energía solar en energía química. El resto de los organismos se denominan heterótrofos (herbívoros, carnívoros, omnívoros...) y obtienen su ración de energía al ingerir la energía química de otros organismos. Un herbívoro sólo ingiere entre un 5 y un 20 por cien de la energía química que capturó la planta originalmente (ya que el resto fue utilizada por la planta para crecer), y de esa fracción el herbívoro sólo aprovecha una parte, desechando el resto en forma de heces. A su vez, un carnívoro sólo aprovecha entre un 5 y un 20 por cien de la energía química que capturó el herbívoro y así sucesivamente. Por tanto, la mayor parte de la energía química que se encuentra en los seres vivos está en los autótrofos, una parte mucho menor en los herbívoros y una parte muchísimo menor en los carnívoros. En circunstancias muy concretas, queda atrapada energía química fuera del alcance de los seres vivos. Este es el origen del carbón por un lado, y del petróleo y gas natural por otro. Cuando las plantas mueren en zonas pantanosas, su masa se deposita en un medio acuático y anaeróbico, donde el bajo nivel de oxígeno impide su descomposición. Esta acumulación recibe el nombre de turbera. Para que la turbera pueda formar más adelante yacimientos de carbón económicamente valiosos deben ocurrir varias cosas: que durante un largo tiempo, a medida que se acumula la materia orgánica, apenas se formen sedimentos, que no haya erosión, y que bruscamente la turbera se sumerja en el mar y se produzca una precipitación rápida de sedimentos. El peso de los sedimentos compacta la turba, que primero pierde el agua entre los fragmentos de las plantas, después con más compactación pierde el agua a nivel intracelular y, por último, gracias al calor, pierde átomos de oxígeno a nivel molecular por diferentes reacciones. Generalmente se necesita una capa de 10 a 30 metros de turba para producir una capa de un metro de carbón.

El origen del petróleo y del gas natural se encuentra en el mar. En algunas cuencas marinas con poca circulación submarina se acumulan algas y peces muertos. Cuando una gran acumulación de este tipo es enterrada bajo una capa de sedimentos y rocas entre 2.300 y 4.600 metros, la presión y el calor son los propicios para que las largas cadenas de carbono de las que están compuestos las algas y los peces se rompan y se despojen de los átomos de oxígeno para formar petróleo. El petróleo está compuesto principalmente por cadenas de carbono (que pueden tener entre cinco y veinte átomos) saturadas por átomos de hidrógeno. Si la acumulación de algas y peces muertos es enterrada a más de 4.600 metros, las cadenas de carbono siguen rompiéndose hasta formar moléculas con menos de cinco átomos de carbono que son gases: metano o gas natural, etano, butano y propano. Pero el petróleo, una vez formado (por ser líquido, más ligero que el agua y por hallarse en lugares de altas presiones), tiende a filtrarse hacia la superficie. De hecho el 90 por cien acaba filtrándose y evaporándose. En su migración hacia la superficie sólo un 10 por cien se topa con una cúpula de roca absolutamente impermeable, y se queda instalado en los poros de la roca (generalmente arenisca, caliza o dolomita) que está por debajo de esta roca impermeable. Con suerte, la porosidad de estas rocas en las que se instala el petróleo (las "rocas almacén") es de más del 5 por cien, lo que facilitará la extracción. Los yacimientos de gas se forman igual. De hecho, siempre hay algo de petróleo disuelto en los yacimientos de gas y viceversa.

Por tanto, es importante pensar en el petróleo como una gran herencia, un tesoro único que viene sobre todo de algas y peces que crecieron hace quince millones de años, y también hace noventa millones de años. En todos los sentidos estamos viviendo a sus expensas. Las plantas que crecen ahora nos dan muy poca energía: paradójicamente las plantas actualmente nos dan una pequeña fracción de las calorías que ingerimos. Por cada caloría que comemos, la industria alimenticia ha utilizado diez calorías de petróleo y gas para procesarla. O, visto desde otro punto de vista, el 20 por cien del petróleo y gas que utilizamos es para alimentarnos. La maquinaria agrícola, los fertilizantes y pesticidas, el procesamiento, la conservación y el transporte de alimentos, todo consume petróleo y gas. No es una exageración decir que "comemos petróleo". Pero, además, la mayoría de los alimentos llegan a nosotros en un embalaje de plástico. Las razones son evidentes: ligereza, alto grado de higiene, resistencia y bajo coste. Estas propiedades, y algunas más, han hecho del plástico el material

preferido de la industria. El asfalto por el que nuestros coches circulan tiene gran cantidad de petróleo. Nuestra ropa, lubricantes, disolventes, pinturas, muchos medicamentos, etc., son o tienen petróleo. No en vano un directivo de una gran petrolera comentó en cierta ocasión que “con la cantidad de usos que tiene el petróleo, quemarlo es como quemar Picassos para calentarse”.

4. “NUESTROS ESCLAVOS”

La combustión de un barril de petróleo produce 1.700 KWh de energía en forma de calor. Como el petróleo tiene otros muchos usos, supongamos que solamente el 70 por cien se acaba quemando, es decir, que genera 1.200 KWh. Un motor de combustión interna eficiente es capaz de aprovechar una cuarta parte de esa energía térmica, es decir 300 KWh. Digamos que una persona que realiza un esfuerzo físico tiene una potencia de 150 Watios (0,15 KW). Por tanto, un barril de petróleo es equivalente a 2.000 horas de intenso trabajo físico humano (300 KWh/0,15 KW). Esto, a su vez, equivale a 83 personas trabajando durante 24 horas. Puesto que en el mundo se consumen 84 millones de barriles del petróleo diariamente, sólo el esfuerzo físico de 7.000 millones de personas (aproximadamente la población de la tierra) trabajando día y noche (83 x 84) sería equivalente al que nos proporciona el petróleo. Y dado que este petróleo lo utilizamos esencialmente para el transporte, gracias al petróleo es como si cada persona en la tierra tuviese un “esclavo” que trabaja día y noche para transportarle a él y a todos sus bienes de consumo.

Pero esta cifra representa una media; en España, por ejemplo, el consumo de petróleo es equivalente a tener tres esclavos por persona. Contabilizando el resto de las fuentes de energía, cada español tiene a seis incansables esclavos: aproximadamente tres para el transporte en general, dos para generar electricidad y uno para generar calor.

5. LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO

Se está llegando rápidamente a un punto, el “cénit de la producción petrolífera” (*peak oil*), en el que no se podrá incrementar la producción de petróleo. Y a partir de ahí empezará el largo declive. De los 65 países mayores productores de petróleo, han

entrado en declive 54. Básicamente, los incrementos en la producción en los últimos años se deben a Arabia Saudita y a Rusia. El primero de estos dos países, con el 11,3 por cien de producción mundial, es en el que se centran todas las miradas. Ello no obstante, mantiene en secreto los datos sobre sus yacimientos. Arabia Saudita es el único país que afirma tener pozos sin producir, pero su producción se ha estancado y desde principios de 2006 ha descendido más de un 10 por cien. En el ya citado libro de Simmons queda patente lo precario de la situación de este país. Este autor, presidente de uno de los bancos de inversión especializado en fusiones y reestructuraciones de empresas petrolíferas y consejero energético de George W. Bush en su campaña presidencial del 2000, tuvo la brillante idea de leer las más de 200 publicaciones que los empleados de *Saudi Aramco* (la empresa estatal de petróleo y gas de Arabia Saudita) presentaron en congresos para ingenieros de la industria petrolífera. En estas publicaciones detallaban los problemas que encontraban en los yacimientos de Arabia Saudita. Cada una de estas 200 publicaciones constituye una pequeña pieza de un gran puzzle con el que Simmons ha reconstruido una imagen de la situación de los yacimientos de Arabia Saudita. Su libro –muy accesible a pesar de la gran cantidad de detalles de la industria que introduce– se ha convertido en un *best-seller* en el mundo de los negocios. Incluso se le ha visto a Bill Gates con el libro bajo el brazo. También Bill Clinton lo ha recomendado en alguna de sus apariciones públicas. En su obra, Simmons ha mostrado cómo Arabia Saudita se enfrenta a problemas técnicos cada vez mayores para poder incrementar su producción y, al hacerlo, está corriendo el riesgo de que sus yacimientos sufran un brusco declive. También presenta una serie de argumentos de los que deduce que las probabilidades de que Arabia Saudita incremente su producción significativamente son casi nulas.

En el *blog* “www.theoil Drum.com” están apareciendo últimamente una serie de artículos de Stuart Staniford que actualizan la investigación de Simmons. Los nuevos datos indican que el reciente declive de la producción de Arabia Saudita se debe a que Ghawar, el mayor yacimiento del mundo, que aporta un 6 por cien de la producción mundial, se agota rápidamente. Desde hace más de cuarenta años *Saudi Aramco* está inyectando agua por debajo del petróleo de Ghawar para empujarlo hacia la superficie. En la zona superior del yacimiento, los poros de la “roca almacén” están ocupados al 100 por cien por petróleo, pero éste se agotará probablemente en los próximos cuatro años. Por debajo de esta zona hay agua y algo de petróleo mezclados. Cuando hay más agua que petróleo, el petróleo tiende a formar

pequeñas gotas aisladas que ya no se mueven, aun cuando el agua a su alrededor fluya, y por tanto no es aprovechable. Luego todo indica que Ghawar tiene los días contados, y parece que este barrido está a punto de acabar en la parte más productiva del yacimiento. Todavía quedará una cantidad importante de petróleo, pero su extracción va a ser mucho más lenta que hasta ahora.

Las perspectivas no parecen mucho más halagüeñas para otros grandes yacimientos. En noviembre de 2005, el presidente de la compañía de petróleo de Kuwait difundió el siguiente comunicado de prensa: "Burgan, el segundo yacimiento más grande del mundo, después de producir dos millones de barriles al día durante seis décadas, no aguanta este ritmo de extracción... esperamos que reduciendo la producción a 1,7 millones de barriles al día, se mantenga durante décadas". Ahora bien, el problema estriba en que cuando un yacimiento entra en declive es difícil estabilizar su producción durante tanto tiempo. Por otra parte, el tercer yacimiento de mayor tamaño en el mundo, Cantarell en Méjico, entró oficialmente en declive a principios de 2006. A lo largo de ese año perdió un 20 por cien de producción. La empresa estatal de petróleo de Méjico (PEMEX) espera poder reducir el declive en 2007 a un 14 por cien, aunque hay expertos que indican que esa estimación es optimista.

En resumen, la evidencia apunta a que empiezan a "pinchar" tantos yacimientos y países exportadores de petróleo que resulta difícil pensar que la producción petrolífera pueda aumentar respecto de los niveles actuales. De hecho, la producción en 2006 ha aumentado un 0 por cien respecto al año 2005.

6. UN MODELO MATEMÁTICO

Otra razón de naturaleza completamente distinta hace suponer un cenit inminente en la producción petrolífera. Es la utilización de un modelo matemático llamado la curva logística, ampliamente utilizado en el crecimiento de poblaciones y en la extracción de recursos. El primero en aplicarlo a la producción petrolífera fue M. King Hubbert, un eminente geólogo de la empresa *Shell*. En 1956 presentó un trabajo en el que predecía que en 1970 los Estados Unidos iban a llegar a su cenit de producción coincidiendo con el momento de haber consumido la mitad de todo el petróleo que finalmente se recuperaría. Hubbert acertó: los Estados Unidos llegaron a su cenit exactamente en 1970, y

desde entonces la producción de petróleo ha ido, inexorablemente, descendiendo, siguiendo una tendencia casi especular a la tendencia ascendente. Este descenso en la producción estadounidense ha tenido repercusiones muy importantes. El país ha pasado de ser exportador a ser el mayor importador del mundo, principalmente porque ha seguido consumiendo más y más. En la actualidad sólo produce una tercera parte de lo que consume, que, a su vez, supone una cuarta parte de lo que se produce mundialmente. Ello ha originado su dependencia creciente de Oriente Medio y es una de las razones del tremendo desajuste en su balanza de pagos. Una muestra de que se trata de un camino insostenible es la histórica frase que Bush pronunció en el debate sobre el estado de la Unión de 2006: "Los Estados Unidos son adictos al petróleo".

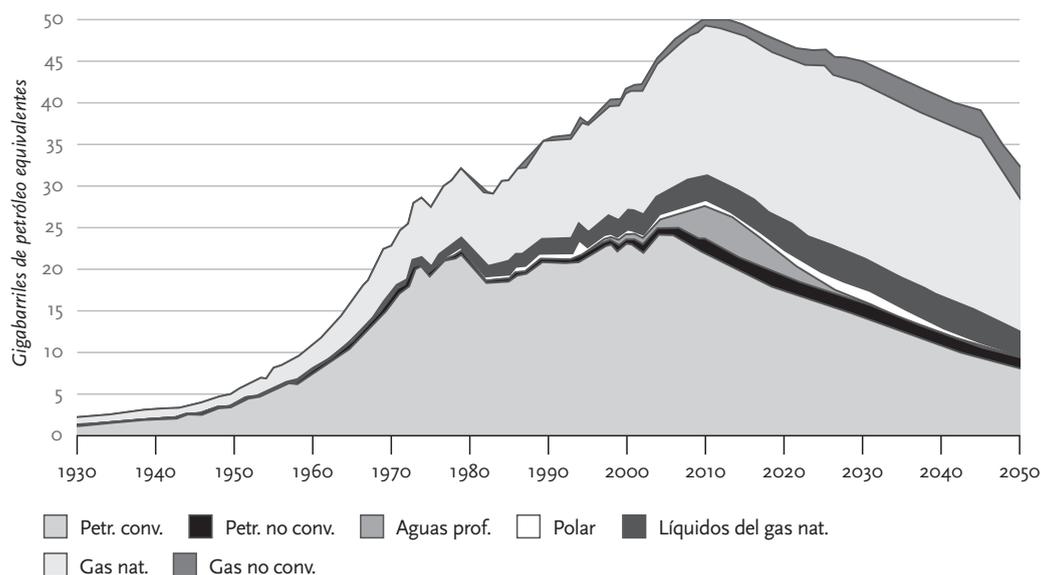
Hubbert también predijo el cenit de la producción mundial en el 2000, pero aquí se equivocó. Un discípulo suyo, Kenneth Deffeyes, ha revisado sus cálculos con la información actual y da como fecha del cenit del petróleo convencional 2005-2006. Puede haber acertado; sólo lo sabremos pasados unos años. La metodología y su predicción están expuestas en su excelente libro *Beyond Oil*. Puesto que en los Estados Unidos se ha extraído una sexta parte de todo el petróleo del mundo, su ejemplo tiene mucho peso. Si este país ha registrado una producción simétrica (especular) y predecible, ¿por qué no el resto del mundo?

El conocimiento de las reservas y de los yacimientos que entrarán en producción en los próximos años ha permitido a la Asociación para el estudio del cenit del petróleo y del gas (ASPO) pronosticar el declive de la producción de petróleo y de gas. Para ello ha utilizado el modelo de la curva logística cuyos resultados se muestran en el gráfico 2.

La ASPO organiza cada año una conferencia en Europa y otra en los Estados Unidos. En julio de 2006 se celebró la quinta edición en Pisa (Italia), donde una de las conferencias más esperadas era la de Chris Skrewoski, editor del *Petroleum Review*. Esta revista publica anualmente una lista de todos los yacimientos que entrarán en producción en los próximos cinco años, que es más o menos el intervalo mínimo que se necesita desde que se descubre un yacimiento hasta que entra en producción. Esta información es fácil de obtener, ya que las petroleras de todo el mundo publican el descubrimiento de los nuevos yacimientos y sus planes de desarrollo, que en muchas ocasiones son optimistas por la misma razón por la que las demás empresas publican sus mejores estadísticas: beneficios

GRÁFICO 2

PERFILES DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS



Fuente: ASPO Newsletter de junio de 2006 (accesible en: www.crisisenergetica.org/).

récord, crecimiento récord, etc. Por tanto, es sólo cuestión de paciencia ir recopilando esta información para obtener una imagen bastante fiel de cuál será la cantidad de petróleo nuevo que aparecerá en el mercado. También se puede estimar el declive de los yacimientos que están en producción. En su conferencia, Skrewoski estimó que el cenit del petróleo sucederá entre 2006 y 2011, dependiendo del declive de los yacimientos en producción, y retó a los escépticos a hacer los cálculos. De hecho confesó contarse inicialmente entre los escépticos: al intentar demostrar que el cenit estaba todavía lejos, es cuando llegó a estas conclusiones. Aceptando el reto de Skrewoski, he dedicado bastante tiempo a comprobar su argumento por distintos métodos. Mi conclusión es que estamos al borde del cenit, que tendrá lugar en 2006 o 2007.

decir la energía bruta, la que consumimos más las pérdidas en transformación) y el gas natural el 20 por cien (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio 2005). En ambos casos, menos del 0,5 por cien se produce en España. Llegará un momento en que los países tradicionalmente exportadores ya no puedan exportar por el declive de su producción y el aumento de su consumo interno. A Indonesia (actual miembro de la OPEP aunque probablemente por poco tiempo) y al Reino Unido ya les ha ocurrido esto.

Entonces, ¿con qué sustituir el 70 por cien de la energía primaria que se consume en España? Lo importante es preguntarse en qué se utiliza ese elevado porcentaje de energía primaria. Simplificando, el petróleo sirve para el transporte de personas y mercancías (en el mundo, el 95 por cien del transporte se realiza con derivados del petróleo), y el gas natural para calentar y para la generación de electricidad (con gas natural se genera en España el 27 por cien de la electricidad). Cada combustible se ha especializado en la función para la que es más eficiente. El petróleo contiene mucha energía por kilogramo y, además, es líquido, lo cual lo hace especialmente eficaz para el transporte. El gas natural se puede quemar prácticamente tal como sale

7. LAS ALTERNATIVAS

Antes de hablar de alternativas hay que tener bien presente que, en España, el petróleo supone el 49,2 por cien del consumo primario de energía (es

del yacimiento para producir calor, mientras que el petróleo hay que refinarlo. ¿Qué alternativas tenemos para sustituir ambos combustibles?

Cuando hablamos de sustituir el petróleo, estamos hablando de encontrar una alternativa de transporte sin petróleo. El motor de combustión interna es el método prácticamente universal de mover los automóviles, y su diseño apenas ha sufrido cambios en más de cien años. Esto parece indicar que cualquier alternativa tiene serias desventajas, como las que figuran a continuación:

- La mayor pega que tiene el coche que se mueve con agua es que no existe.

- Los coches eléctricos tienen la desventaja de una autonomía pequeña. Las baterías no son capaces de almacenar la energía necesaria para mover un coche más de unas decenas de kilómetros. En este sentido es esperanzador lo conseguido con los coches híbridos, que combinan un motor de gasolina y otro eléctrico. La energía que se desperdicia normalmente en la frenada la utilizan para cargar una batería. El motor eléctrico se emplea en situaciones en las que el motor de gasolina es poco eficiente, como por ejemplo con tráfico lento. Con esta nueva tecnología se podría ahorrar del orden de un tercio de gasolina.

- Hay coches que se mueven con gas, pero la situación del gas natural no es mucho mejor que la del petróleo.

- También hay coches que utilizan hidrógeno. Ahora bien, es importante aclarar cómo funcionan. Estos coches necesitan hidrógeno sin combinar con otro tipo de átomo, pero esto no se da de forma natural porque es altamente inestable. Por tanto, lo primero que hay que hacer es producirlo y almacenarlo. Para obtener hidrógeno hay que romper una molécula, como la del agua, y para ello hace falta energía. Típicamente se hace con electricidad, proceso que se denomina "hidrólisis". Ocuere que almacenar el hidrógeno representa un problema, porque es el átomo más pequeño y resulta difícil hacer un contenedor impermeable. Además, como es un gas, son necesarias altas presiones y/o bajas temperaturas para almacenar una cantidad sustancial de hidrógeno en poco espacio. Todo ello supone unas dificultades técnicas enormes. Se puede hacer, pero todavía a un coste gigantesco. Cuando se combina el hidrógeno con oxígeno, entonces se produce agua y se libera energía que mueve el coche. Pero la energía producida es menor que la energía necesaria para romper la molécula de agua.

En conclusión, además de las dificultades técnicas, del proceso se obtiene un déficit de energía.

- Una alternativa que se está poniendo de moda poco a poco consiste en los biocombustibles, el etanol en especial. Sin embargo, todavía se precisa alrededor de un barril de petróleo para producir el equivalente en etanol a un barril de petróleo. La cifra depende de la planta cultivada y de la forma de cultivarla, pero nunca hay ganancias importantes. Este tipo de cálculos está refrendado por el trabajo de investigadores de prestigio como David Pimentel. Nótese que, en una agricultura sin aporte de hidrocarburos, el rendimiento de las cosechas sería mucho menor. Pero al margen del problema de las aportaciones de hidrocarburos en la agricultura, aun plantando toda España para producir biocombustibles, solamente se podría generar una parte de todo el combustible que necesitamos.

- Por último, existe otra opción consistente en convertir gas natural o carbón en petróleo a través del proceso Fischer-Tropsch. Sobre la opción de convertir gas natural en petróleo, basta recordar que no sobra el gas natural. Sin embargo, abunda el carbón, especialmente en algunos países como China y los Estados Unidos. Ciertamente, la transformación de carbón en petróleo no constituye ninguna novedad histórica: Alemania durante la Segunda Guerra Mundial y Sudáfrica durante el Apartheid lo hicieron. Actualmente China está fabricando centrales con este fin.

¿Pero acaso no es posible reducir los desplazamientos sin cambiar el estilo de vida de las sociedades avanzadas? Primero, es importante darse cuenta de que vivimos en un mundo muy globalizado. En España, gran parte de los bienes de consumo vienen de fuera y para su transporte ha sido necesario algún derivado del petróleo. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE 2007), el transporte de mercancías por carretera supone el 47 por cien del gasto de combustible. Cambiar este modelo desarrollando economías más locales es un proceso que tendrá que hacerse con mucho esfuerzo.

Si se quiere que un número importante de conductores deje de utilizar su coche, es necesario ampliar y mejorar la oferta de transporte público. Se sabe que el índice medio de ocupación por vehículo es de 1,2 personas y el 50 por cien de los viajes en coche son de menos de tres kilómetros. Estos datos ofrecen márgenes para mejorar, pero el cambio requiere planificación. Actualmente se aprecia en España y otros países una tendencia a comprar coches más potentes y pesados. Conseguir que

aumente significativamente la proporción de coches eficientes, como los híbridos, llevará tiempo, ya que la vida media de un coche es superior a quince años.

En la búsqueda de alternativas al transporte sin petróleo, las más viables consisten en convertir carbón en gasolina, los coches eléctricos con baterías que puedan almacenar más electricidad que los actuales, y los coches de hidrógeno, si es que se resuelven sus problemas técnicos. Estas dos últimas posibilidades consumen electricidad y, por ser procesos con pérdidas, electricidad en grandes cantidades. La única posibilidad de incrementar en poco tiempo la oferta de electricidad reside en las centrales nucleares, que requieren uranio.

Se calcula, como ya se apuntó al principio de este artículo, que las reservas de uranio durarán entre setenta y noventa años, pero esa estimación tiene los mismos problemas que la ofrecida para el petróleo. Se están agotando las minas de uranio más ricas, y muy pronto va a ser necesario explotar minas con mucha menor concentración de mineral. Además, el cálculo está basado en el consumo actual, y no tiene en cuenta incrementos futuros. Por otra parte, las centrales nucleares tienen otros problemas bien conocidos. Apostar o no apostar por la energía nuclear es una decisión importante. Los ciudadanos deberían participar en esa decisión para lo cual es imprescindible tener bien presente qué consecuencias se derivan de emprender uno u otro camino.

Una opción real en la actualidad es la del carbón, aunque no queda mucho en España y el que queda es de mala calidad. La combustión del carbón emite más gases de efecto invernadero que el petróleo y el gas natural, además de otras muchas sustancias contaminantes. Sus defensores aluden al proceso de "secuestrar" CO₂, es decir inyectar el CO₂ en cavernas subterráneas. Tal proceso se encuentra en fase experimental, pero las cantidades de CO₂ que habría que inyectar son enormes. Si uno toma en serio las consecuencias del cambio climático, es inevitable llegar a la conclusión de que apostar por el carbón es algo así como un suicidio.

¿Y cuáles son las alternativas al gas natural? O mejor, ¿de qué otra forma se puede producir calor? El carbón es una opción clara, pero de nuevo el CO₂ lo convierte en una alternativa altamente peligrosa. La biomasa (madera y demás restos de la agricultura), los RSU (residuos sólidos urbanos o incineración de basura) o las placas solares térmicas son alternativas, aunque su aportación actual es pequeña. Es conveniente saber que usar electricidad para generar calor es muy ineficiente.

Siempre existe la posibilidad de confiar en algunas de las opciones que se están investigando. Puede ser que la fusión finalmente funcione, pero sus defensores llevan treinta años prometiendo que en treinta años estará disponible, y lo más probable es que esa tendencia continúe. Se suele decir que la necesidad agudiza el ingenio. Lo cierto es que el pasado no ha sido ajeno a graves problemas que amenazaban el progreso y la civilización, pero siempre se ha encontrado una solución que mejoraba la situación anterior dando un nuevo impulso al progreso. Por ejemplo, cuando la Europa del siglo XVI se estaba quedando sin leña hubo de recurrir al carbón. Y aunque inicialmente se le consideraba una alternativa nada atractiva, poco a poco se fue descubriendo que era un combustible superior a la leña.

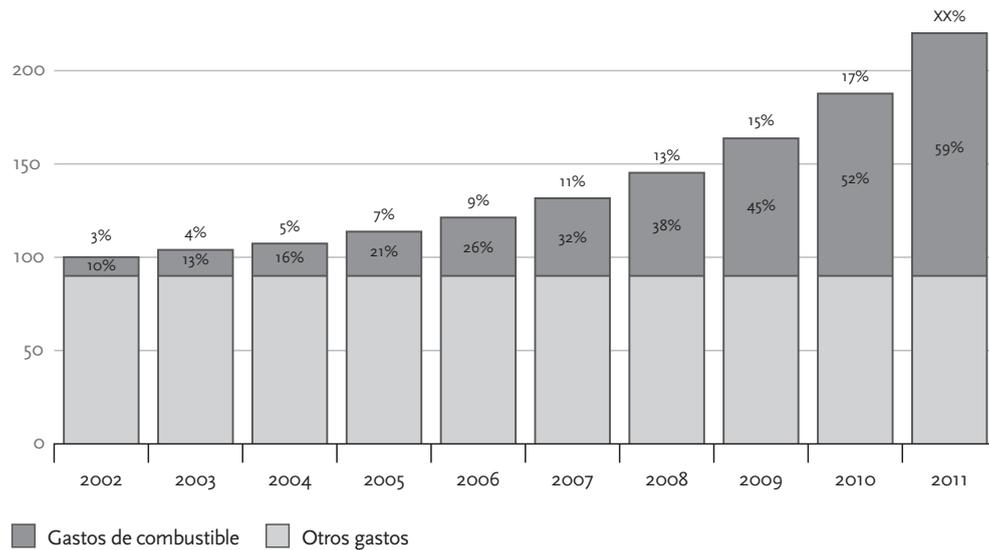
Lo que diferencia nuestra época industrial de las anteriores es la aplicación del método científico. Los grandes avances han llegado por un estudio sistemático de la naturaleza y no tanto por una necesidad. La energía nuclear surgió a mitad de siglo XX como consecuencia del gran avance que experimentó la física en la primera mitad del siglo. En esa época no había ninguna urgencia por encontrar una nueva fuente de energía; antes bien, los Estados Unidos estaban repletos de petróleo. Pero ante la necesidad de una nueva fuente de energía, va a resultar difícil encontrar algo innovador.

8. CONCLUSIONES

Como escribe Deffeyes (2005) en su libro *Beyond Oil*, "cuando uno se ha despeñado es demasiado tarde para frenar". El cenit del petróleo es inminente y nos va a traer miserias. Ya es tarde para esquivar el problema. El influyente informe Hirsch (2005) estima que son necesarios veinte años con inversión y esfuerzo sin precedentes antes del cenit para tener un "aterrizaje suave". Y con toda seguridad no vamos a tener veinte años. Si se llega al cenit antes de empezar los preparativos hacia un modelo energético alejado del petróleo y gas natural (que es la situación actual), entonces resultará difícil introducir cambios. Las centrales nucleares, las placas solares, los aerogeneradores... son infraestructuras que necesitan una inversión de energía enorme y, en términos energéticos, el retorno de la inversión se produce después de muchos años. Cuando empiece a faltar energía, la disponible se utilizará para cubrir las necesidades más inmediatas.

GRÁFICO 3

INCREMENTO DE 33 POR CIENTO ANUAL DE LOS GASTOS DE COMBUSTIBLE DE UNA AEROLÍNEA



Desde enero de 2002 hasta agosto de 2006, el precio del crudo se ha incrementado a un ritmo del 33 por cien anual con una extraordinaria precisión (de 20 a 75\$). Eso quiere decir que el precio se ha doblado cada dos años y medio. Así que no parece exagerado decir que la crisis energética ya ha empezado. Muchos economistas están contentos, y hasta sorprendidos, de cómo se están adaptando los países a estos precios. Pero un ejemplo puede ilustrar hasta qué punto, si los precios siguen subiendo, la situación puede ponerse cada vez más difícil. Supongamos que en enero de 2002 las compañías aéreas gastaban un 10 por cien en combustible (los porcentajes de este supuesto se aproximan bastante a la realidad). Manteniendo el resto de los gastos constantes, un año más tarde el incremento del 33 por cien del combustible significa un 3,3 por cien de incremento de gastos para la compañía, y el combustible representaría el 13 por cien del gasto de las compañías. Ambas cifras van incrementándose, de modo que, en la actualidad, el crecimiento de los gastos de las compañías debe ser del 10 por cien anual y el combustible representa un 30 por cien del gasto total. En el gráfico 3 se puede ver qué pasará si la tendencia del precio del combustible de los últimos cinco años continúa otros tantos.

Las compañías aéreas no son las únicas que utilizan combustible. Según datos del Instituto Nacional de Estadística de 1998, el 12,4 por cien del presupuesto familiar se destina al transporte (INE 1998). En un primer momento, las industrias que utilizan mucha energía son las que más sufren, pero, a la larga, ellas pasan sus gastos a los consumidores aumentando los precios. Esto es lo que los economistas llaman efectos de "segunda vuelta", que se materializan después de unos meses de la escalada de precios.

Senegal y, en general, los países sub-saharianos ofrecen ejemplos dramáticos de este proceso. El 19 de octubre de 2006 el *New York Times* publicó la siguiente columna: "Senegal ha incrementado un 15 por cien el precio de la electricidad, exasperando a los consumidores ya hartos del Gobierno del Presidente Abdoulaye Wade, después de meses de constantes cortes de electricidad. Los frecuentes cortes de electricidad, que duran días en algunas zonas, han deteriorado la economía y provocado ira hacia el Gobierno del Presidente Wade. Los cortes de luz obedecen principalmente a la dificultad de comprar combustible cada vez más caro para las centrales eléctricas que funcionan con petróleo. Los residentes, careciendo de ventiladores y neveras durante los meses más calurosos, fue-

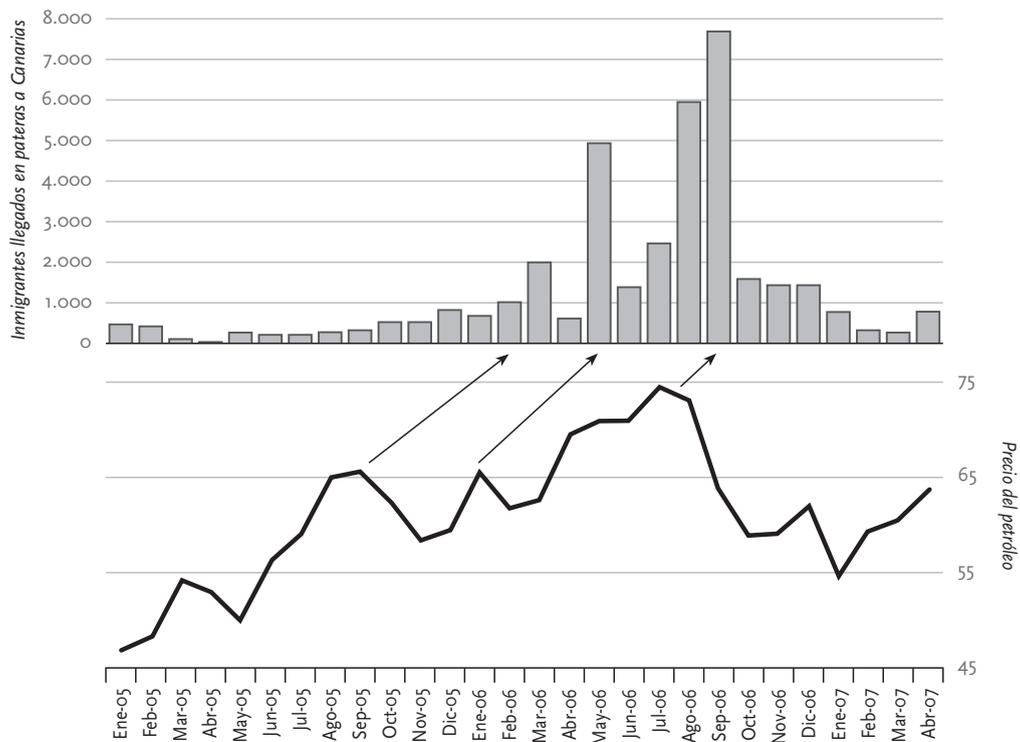
ron sorprendidos por una subida inesperada de sus facturas eléctricas. “Pensé que era un error” dijo Tidiane Tairou, que regenta una pequeña peluquería equipada con dos maquinillas eléctricas. “Algunas veces cortan la luz desde pronto por la mañana hasta la noche, y a final de mes todavía te llega la factura, aun cuando no has podido trabajar”. Efectivamente, Senegal genera el 76 por cien de su electricidad con petróleo, mientras que España solamente un 8 por cien. En los países desarrollados se evita generar electricidad con petróleo porque es más caro que las demás alternativas. Sin embargo, es difícil para Senegal invertir en centrales de gas natural, de carbón, nucleares y energías alternativas por carecer del capital necesario.

El 28 de octubre de 2006 se publicó una carta en el *Washington Post* del Presidente de Sene-

gal que decía: “...los efectos de la dependencia del petróleo de los Estados Unidos palidecen si los comparamos con el dolor que causa en África la subida de los precios del crudo. En el África subsahariana, en particular, la crisis del petróleo no supone una irritante escalada de costes, es una catástrofe en potencia. Si el precio del crudo alcanza 100\$ el barril de aquí a un año, como algunos analistas predicen, tendremos un desastre pan-africano. Los países africanos ricos, productores de petróleo, se verán amenazados por un aluvión de personas buscando sobrevivir.” Curiosamente, en el gráfico 4 se puede comprobar cómo las tres subidas bruscas en los precios del petróleo durante los dos últimos años se corresponden, pasados unos meses, con oleadas de inmigrantes llegados a Canarias en pateras (la mayoría de países subsaharianos).

GRÁFICO 4

COMPARACIÓN ENTRE LA EVOLUCIÓN DE INMIGRANTES LLEGADOS EN PATERAS A CANARIAS Y LA EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DEL PETRÓLEO



Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Gobierno de Canarias y la Energy Information Administration (www.eia.doe.gov).

Por lo general, análisis de este tipo faltan en los medios de comunicación, cada vez más atentos al "ruido" puntual que a las tendencias o a la señal subyacente. Es una verdadera pena que los interesados y dispuestos a invertir precioso tiempo en conocer qué pasa en el mundo a menudo no logren más que enterarse de noticias que caducan dos días más tarde. Y cuando hay noticias que duran más de dos días, la mayoría de los periodistas no las sitúan en un contexto, no explican cómo se ha llegado hasta esa situación, cuáles son las repercusiones para el futuro, etc. Sin duda existen buenos trabajos periodísticos, pero hay que esforzarse por encontrarlos. Resulta esperanzador que desde hace unos años haya expertos realizando la labor de los periodistas. Mantienen *blogs* en los que explican a un público general las noticias de su especialidad y destacan los buenos artículos periodísticos.

Después de leer, pensar y hablar mucho sobre el tema, mi opinión es que la medida más efectiva para tener un "aterrizaje" lo más suave posible es la conservación de la energía y la eficiencia en el consumo; es decir, gastar menos, y lo que gastemos hacerlo con más eficiencia. Para lograr esto, no basta con cambiar de hábitos; también hay que cambiar de infraestructuras. Y esta necesidad no afecta sólo a los poderes públicos. También ayudarán a capear mejor el temporal los cambios personales, como usar bombillas y, en general, electrodomésticos de bajo consumo, no dejar aparatos en stand-by, colocar paneles solares, usar aislamiento térmico en las casas, recurrir más al transporte público, utilizar coches híbridos, comprar productos que no hayan cruzado medio mundo, etcétera.

Esperar a que los precios de la energía suban más para introducir los cambios puede ser desastroso, ya que, puesto que los precios están distorsionados y no hay buena información, los cambios pueden resultar muy bruscos. Por ejemplo, intentar comprar placas solares cuando todo el mundo quiera comprarlas (y el momento llegará) es una opción peor que escalar el proceso de su adquisición masiva. La época del "gran despilfarro" se está acabando. Tenemos dos opciones a nivel personal y a nivel global: cerrar los ojos y continuar la gran "fiesta" (Heinberg 2005) hasta la última gota, o trabajar para que la sociedad tenga algún tipo de futuro. Yo me inclino por la segunda opción.

BIBLIOGRAFÍA

BP Statistical Review of World Energy, junio de 2006.

DEFFEYES, K.S. (2005), *Beyond Oil: The View from Hubbert's Peak*, Nueva York, Hill & Wang.

HIRSCH, R. L.; BEZDEK, R. y R. WENDLING (2005), *Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation and Risk Management* (www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/Oil_Peaking_NETL.pdf).

HUBBERT, M. K. (1956), *Nuclear Energy and the Fossil Fuels: Drilling and Production Practices*, Nueva York, American Petroleum Inst.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE) (1998), Encuesta continua de presupuestos familiares (www.ine.es/inebase/cgi/um?M=%2Ft25%2Fe437&O=inebase&N=&L=).

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO (2005), *La Energía en España 2004*, Madrid, MITC.

ROBERTS, P. (2004), *End of Oil: On the Edge of a Perilous New World*, Boston, Houghton Mifflin.

SIMMONS, M. R. (2005), *Twilight in the Desert: The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy*, Nueva Jersey, John Willey & Sons.

RECOMENDACIONES PARA OBTENER MÁS INFORMACIÓN

Entre los muchos documentales sobre el tema de las reservas de petróleo revisten especial interés *The End of Suburbia* (2004; existe una versión en castellano con el título *El Fin del Sueño Americano*), *A Crude Awakening: The Oil Crash* (2006) y *Crude Impact* (2006).

Cada uno de los siguientes libros tiene su propio enfoque, pero todos son excelentes: *Half Gone* de Jeremy Leggett (2005) (incluye el tema del cambio climático); *Se acabó la fiesta: ¿Qué harías en un mundo sin petróleo?* de Richard Heinberg (2005) (desde el prisma de la ecología); *El fin del petróleo* de Paul Roberts (2004) (periodismo de investigación riguroso); *Beyond Oil* de Kenneth Deffeyes (2005) (el punto de vista de un geólogo de la industria petrolífera). El libro *Colapso* de Jared Dia-

mond (2005), aunque sólo trata por encima el tema energético, contiene también argumentos de gran interés para el debate público sobre la disponibilidad de los recursos que más se utilizan en las sociedades avanzadas.

En cuanto a informes y artículos accesibles por Internet, en febrero de 2007 se ha publicado el esperado *CRUDE OIL: Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production* de la Oficina de Auditoría del Gobierno de los Estados Unidos (Government Accountability Office, GAO). En febrero de 2005 se publicó el Informe Hirsch, encargado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos a un grupo de consultores y que ha sido muy influyente, dada la categoría de sus autores. También de Robert L. Hirsch, pero más breve y reciente, es *Peaking of World Oil Production: Recent Forecast*. El 30 de marzo de 2007 Fredrik Robelius defendió con éxito la tesis *Giant Oil Fields - The Highway to Oil: Giant Oil Fields and their Importance for Future Oil Production*, que modeliza la producción petrolífera futura utilizando los yacimientos más grandes del mundo. En julio de 2006 se publicó en el *Chicago Tribune* "A tank of gas, a world of trouble", un largo artículo de Paul Salopeken en el que se cuenta de forma amena el camino que debe recorrer el petróleo desde los yacimientos hasta las gasolineras. También recomiendo leer la revista electrónica mensual *ASPO Newsletter* (www.peakoil.ie).

El blog "www.theoil drum.com" es informativo, académico y serio. En España, la página web "www.crisisenergetica.org" se ha ido institucionalizando en los tres años que lleva ya abierta. La página "www.energybulletin.net" es la que mejor recopila noticias sobre energía. Por último, el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía) ha publicado recientemente un librito muy útil que se puede descargar gratuitamente desde su web (www.idae.es), llamado *Guía Práctica de la Energía, consumo eficiente y responsable*.