

## El declive energético

ANTONIO TURIEL \*

Instituto de Ciencias del Mar (ICM-CSIC)

**Artículo publicado en la revista [Mientras Tanto](#), número 117 (invierno 2012)**

Mientras ultimo este artículo, los líderes de la eurozona están a punto de reunirse para decidir el futuro del euro, lo que en buena medida quiere decir el futuro de la economía de la Unión Europea y, por las consecuencias globales que podrían derivarse, de la economía mundial. Intento ordenar mis ideas para poder hacer accesible al lector un relato coherente de cómo hemos llegado hasta aquí y para explicar que hay una crisis más profunda que afecta a los resortes últimos de la sociedad, en un ámbito en el que no solemos reparar y que, por tanto, le pasa desapercibido a la mayoría de la gente; una crisis tan grave que determina la imposibilidad permanente de volver a crecer; una limitación estructural tan profunda que, aunque su conocimiento no nos permite predecir exactamente qué haremos, sí que nos permite saber qué podremos hacer y qué no, y cómo la cuenta de lo primero —nuestras ilusiones de futuro— será cada vez más breve y la de lo segundo —los sueños perdidos— será cada vez más larga. Y lo peor de todo es que, dada nuestra cortedad de miras, al seguir ofuscándonos en el tratamiento de los síntomas de esta crisis —los problemas económicos y financieros— no somos capaces de profundizar en el diagnóstico y ver cuál es la causa última e inexorable de nuestra decadencia: las limitaciones en los recursos.

No tengo, en esencia, nada nuevo que decir para el lector que haya leído mínimamente sobre los problemas de sostenibilidad de nuestra sociedad, y la tesis central de mi discurso es burda y banal: estamos abocados a un declive (que no es futuro sino que ya ha empezado, porque hace ya al menos cinco años que comenzó a ser indisimulable) por la disminución de la disponibilidad de los recursos naturales (ya verificada en el caso de algunos y esperada en breve para el resto). Entiéndase aquí: el petróleo, el carbón, el gas natural, el uranio...; es decir, las materias primas energéticas. Pero también el oro, la plata, el plomo, el cobre, el estaño, el mercurio, etc., materias primas minerales de extendido uso industrial. Y, como corolario de todo ello, las dificultades crecientes, hasta el punto de hacerlas inviables con el modelo actual, de las energías renovables. Y es que nuestra sociedad industrial ha llegado a un punto de eficiencia tal en la explotación de los recursos que ha tramado una compleja malla de interacciones entre todos ellos, difícil de desenredar y más aún en medio de la carestía, lo que a la postre la ha vuelto más frágil en vez de robustecerla. La conclusión necesaria de todo ello es que nuestra decadencia como sociedad es no sólo completamente inevitable sino también inminente, y sólo podremos evitar consecuencias peores (el colapso) si reconocemos cuanto antes la gravedad de la situación, comenzamos a

---

\* Científico titular del CSIC, presidente del Oil Crash Observatory (<http://oilcrash.net>) y autor del blog *The Oil Crash* (<http://crashoil.blogspot.com>), dedicado a la crisis energética.

diseñar un nuevo sistema verdaderamente sostenible y, además, ponemos en marcha un plan de choque para pilotar una transición que se adivina peligrosa y cuyo éxito no está en absoluto garantizado.

Semejante conclusión es tan chocante, tan diferente de los discursos imbuidos de optimismo tecnológico que estamos acostumbrados a oír, tan extraordinaria, en suma, que necesitará de pruebas extraordinarias para ser aceptable. Y a eso voy, querido lector, a efectuar un relato pausado y detallado de todos los complejos problemas que nos aquejan y de por qué no podrán ser resueltos con las viejas estrategias que tan exitosas fueron hasta hace pocas décadas, pero que son las que nos han llevado a este callejón sin salida.

### **Algunas consideraciones de carácter general**

Cuando se habla del problema de la escasez de recursos naturales, es un lugar común considerar como alarmista e injustificada la preocupación por estas materias, basándose en que aún falta bastante tiempo para su agotamiento. Por ejemplo, es habitual citar estadísticas oficiales que afirman que queda petróleo para unos treinta años; peor aún: se suele repetir, con cierta sorna, que hace treinta años que queda petróleo para treinta años, algo que algunos inversores especializados en combustibles fósiles atribuyen al hecho de que el ingenio humano y el progreso técnico van poniendo a nuestro alcance cada vez más recursos. Semejante punto de vista es terriblemente erróneo por dos motivos. El primero es que los problemas con el petróleo y con el resto de las materias primas no comienzan cuando se agotan por completo, sino cuando su oferta empieza a no poder atender la demanda, es decir, cuando la producción anual empieza a decaer. Los cálculos que sostienen que «quedan treinta años de suministro de petróleo» incurren en la falacia usual de dividir las reservas estimadas entre la producción anual, dando una cifra de años que no significa nada puesto que el gran problema es, justamente, mantener ese nivel de producción. Y es que no debemos olvidar que la energía es el motor de la economía, de tal modo que hay una correlación muy estrecha entre el consumo de energía y el PIB, como la Agencia Internacional de la Energía nos recuerda todos los años (WEO, 2010); por tanto, una disminución de la cantidad de energía de la que disponemos año tras año conlleva una cierta contracción económica imposible de contrarrestar meramente con mejoras de la eficiencia. Así pues, el punto crítico de cualquier recurso es la llegada a su cenit o producción máxima, que en el caso del petróleo tiene un nombre bien conocido: *Peak Oil*.

Existe, además, un segundo problema con esa fijación que tienen los analistas económicos consistente en mirar solamente la magnitud de las reservas. En el caso concreto del petróleo, durante la última década se ha recurrido a una generalización de lo que consideramos petróleo, de modo que las estadísticas actuales se elaboran añadiendo al petróleo convencional o petróleo crudo (el que se extrae del subsuelo mediante pozos) otros líquidos de sucedáneos o petróleos sintéticos, semejantes pero no idénticos al petróleo crudo; son los llamados «petróleos no convencionales». Dejando de lado la capacidad imperfecta de estos nuevos petróleos de suplir al petróleo crudo, las reservas de los petróleos no convencionales son enormes, varias veces mayores que las del petróleo crudo (se estima que de este último quedan unas reservas de alrededor de un billón de barriles, mientras que de petróleos no convencionales habría hasta siete billones de barriles adicionales, y eso sin contar con los biocombustibles). Si en el anterior cálculo consistente en dividir las reservas entre la producción incluimos las reservas de petróleo

no convencional, nos encontramos con que queda petróleo para 240 años, no para 30. Sin embargo, los petróleos no convencionales plantean problemas aún más complejos que el petróleo crudo, pues es necesario contar con abundantes recursos de gas natural y de agua para su explotación y síntesis, y esto finalmente limita de manera más severa su capacidad productiva que en el caso del petróleo crudo. En este momento los petróleos no convencionales representan una fracción minoritaria del consumo mundial (todos estos petróleos no convencionales se producen a un ritmo de unos 10 millones de barriles diarios; para abreviar, Mb/d), mientras que el petróleo crudo proporciona de media alrededor de 75 Mb/d; por tanto, la producción —y el consumo— total de petróleo del mundo ascienden, por término medio, a alrededor de 85 Mb/d, con variaciones, según la estación del año, de unos 3 Mb/d hacia arriba o hacia abajo. Fíjese el lector que este consumo diario es tan grande que los 10.000 millones de barriles de nuevas reservas de crudo que cada año se descubren por término medio no cubren todo el consumo anual, sino sólo 120 días; así, uno de esos «grandes yacimientos» con 1.000 millones de barriles, de cuyo descubrimiento la prensa generalista se hace eco a bombo y platillo, daría para 12 días de suministro mundial, y eso suponiendo que se pudiera extraer el petróleo a la velocidad que uno quisiera. Tal es la enormidad de nuestro consumo petrolífero actual.

Relacionado con las dificultades añadidas de explotación, los petróleos no convencionales requieren que los precios de esta materia prima sean superiores a un valor por debajo del cual su explotación no es económica; a mediados de 2008 se consideraba que ese valor límite estaba en torno a los 60\$ por barril, aunque en la actualidad se asume que no baja de 80\$ el barril y algunos analistas lo sitúan por encima de los 100\$ por barril, un precio de corte que varía según el tipo de petróleo no convencional que se considere. Conviene recordar aquí que, según el profesor James Hamilton (Hamilton, 2009), para EE.UU. la factura petrolera no debe superar el 5,5% de su PIB, so pena de desencadenar una recesión si esa carga se mantiene durante demasiados meses. Ese valor representa un precio por barril de entre 80 y 85 dólares, lo cual explica la enorme dificultad de integrar los petróleos no convencionales dentro de nuestro tejido económico, ya que para ser rentables su precio tiene que ser inasumible. Resulta por tanto curioso lo desconectados que algunos analistas están respecto de la realidad de una sociedad basada en el consumo masivo de energía barata; no es extraño, aún hoy, oír hablar de predicciones para el precio del barril de petróleo superiores a los 200\$ a precios constantes y de manera permanente, precios tan elevados que implicarían la destrucción de amplios estratos económicos y una depauperización generalizada del mundo occidental. Sería conveniente destacar que la energía no es una mercancía más, y que la ley de equilibrio entre la oferta y la demanda tiene un límite basado en la capacidad de estrés económico de nuestra sociedad.

Los analistas económicos suelen insistir también en que las actuales limitaciones en la producción de petróleo tienen su raíz en la falta de inversión, y que con medios suficientes el petróleo fluiría a raudales. Esta afirmación es tautológicamente cierta; en última instancia, podríamos abrir enormes boquetes en el suelo para extraer hasta la última gota de crudo, pero ¿qué gasto implicaría un método tan brutal? El *quid* de la cuestión no es la falta de inversión, sino la falta de rentabilidad: no se pueden usar métodos desmesurados, técnicamente ya disponibles hoy en día, si el gasto supera a los ingresos previsibles. Pero, siguiendo la línea de razonamiento común de los economistas, el problema es entonces la falta de demanda: con una demanda suficientemente vigorosa no hay barrera en forma de precio que se le oponga. Dejando de lado el hecho de que no comprenden que, como se ha dicho más arriba, la energía no es una mercancía más y que su precio debe ser limitado, existe un problema más profundo, de

naturaleza física, que es pertinazmente ignorado por nuestros analistas de las páginas de color sepia: el rendimiento termodinámico de los yacimientos, expresado por la Tasa de Retorno Energético (TRE), de la que Pedro Prieto habla largo y tendido en otro artículo de este mismo número. La cosa es clara: las cuentas han de cuadrar energéticamente para que puedan cuadrar económicamente, es decir, se tiene que extraer más energía que la que se emplea en obtenerla para que el negocio sea rentable. Eso es lo que en última instancia impide usar métodos brutales para exprimir el subsuelo y lo que, en definitiva, limita la explotación exhaustiva de cualquier recurso, ya sea petróleo crudo, petróleo no convencional, carbón, gas convencional, gas no convencional, uranio, etc.

A pesar del desconocimiento generalizado sobre el concepto de la TRE, éste tiene una importancia capital para el futuro. La TRE media de todas las fuentes de energía disponibles para una sociedad ha de superar un valor umbral para que ésta sea viable, y ese valor está bastante por encima del punto crítico  $TRE=1$ , en el que se recupera sólo la misma energía que se invirtió, en el que ya no se gana energía. Diversos estudios antropológicos y económicos (Lee, 1968; Harris, 1997; Hall, Balogh y Murphy, 2009) apuntan que la TRE mínima de una sociedad organizada se sitúa cerca de 10. La constatada caída de la TRE de las materias explotadas, particularmente del petróleo (que en un siglo ha pasado de 100 a menos de 20; Hall, Balogh y Murphy, 2009), es un elemento añadido de preocupación, y por eso comentaremos brevemente cuál es el valor actual de cada fuente de energía analizada y cuál será su evolución previsible.

Otro factor que se suele pasar por alto es el denominado «modelo de territorio exportador» (*export land model*; Foucher y Brown, 2007), desarrollado para describir las exportaciones de petróleo pero que, con adaptaciones, sirve para describir el comportamiento de las exportaciones de cualquier otra materia prima energética. De acuerdo con este modelo, en los países exportadores de petróleo que ya han superado su *Peak Oil*, y debido al aumento de su consumo interno (como un mecanismo de redistribución de rentas y de diversificación de su economía), la proporción de petróleo disponible para la exportación decae más rápidamente que la producción; la media histórica indica que por cada 1% que retrocede la producción, las exportaciones se reducen un 2%. Peor aún, los datos históricos muestran que un país deja de exportar petróleo entre 5 y 15 años después de llegar a su *Peak Oil* particular, y que el 90% de todas las exportaciones después del *Peak Oil* se realizan en los dos primeros años. En consonancia con esta discusión, recientemente Majed Al-Moneef, gobernador saudí de la OPEP, declaró que, aunque la producción de Arabia Saudí crecerá ligeramente en los próximos años, sus exportaciones bajarán debido al aumento del consumo interno, lo cual es un reconocimiento implícito de que la tan cacareada capacidad ociosa de Arabia Saudí (esto es, el petróleo que el país podría producir pero que guarda en reserva para controlar los precios) es ya historia, como se ha demostrado este año con su incapacidad para cubrir los 1,5 Mb/d perdidos por la guerra de Libia. También significa que, en realidad, Arabia Saudí ha rebasado su *Peak Oil*, lo cual se sabe que quiere decir que el mundo ha rebasado su *Peak Oil*. Para un país como España, que importa el 99,5% de su petróleo (el otro 0,5% proviene de la plataforma *Casablanca*, sita frente al delta del Ebro), el problema de la caída generalizada de las exportaciones es extremadamente grave, porque implicará una reducción aún más rápida de la disponibilidad de petróleo. De hecho, debido al descenso de las exportaciones a escala global y a la presión de los países emergentes, la OCDE en su conjunto viene perdiendo desde 2005 un 3% anual de su consumo de petróleo (en efecto, ya estamos cerca de un 18% de caída respecto a los niveles máximos registrados), y la tendencia se agravará con la rápida disminución de las exportaciones saudíes.

Lamentablemente, eso no es todo. En un mundo donde las tensiones son crecientes se producirán muchos efectos no lineales, transiciones bruscas de un estado de cosas a otro radicalmente diferente en que, de golpe, se perderán capacidades que costará mucho recuperar. Un ejemplo de ello es la guerra de Libia, y otro la disminución drástica de los acuíferos en Arabia Saudí, que estarán agotados hacia 2012: esa agua se utiliza para regar sus cultivos y, en mayor medida, para inyectar agua a presión para bombear más petróleo. Asimismo, las inversiones especulativas en materias primas tienden a aumentar la volatilidad del mercado y a hacer más difícil la inversión en *upstream* (en la exploración y el desarrollo de nuevos pozos). Y así un largo etcétera. Somos prisioneros de un complejo sistema de interacciones que tiende a transmitir las tensiones en cascada y a degenerar rápidamente en fenómenos de avalancha...

Pasemos ya a discutir el estado actual y previsible para las próximas décadas de las diversas fuentes de energía.

### **Estado actual y futuro a corto y medio plazo de las fuentes de energía no renovables**

*Petróleo:* El petróleo es, sin duda, la materia prima energética estrella; basta recordar que el 34% de la producción de energía primaria del mundo y el 95% del transporte se basan en el él. Es, además, una materia fundamental para la explotación de todas las demás, debido a su uso generalizado en maquinaria (tractores, excavadoras, grúas, perforadoras, grupos electrógenos para alimentar compresores, iluminación y otros equipamientos en minas ubicadas en lugares remotos, etc.). Por todo ello dedicaremos una atención preferente al petróleo en nuestro análisis.

Durante décadas se ha discutido sobre la inminencia o no del *Peak Oil* a escala planetaria. En realidad, tal discusión estaba perdiendo rápidamente el sentido, ya que sólo tres países en el mundo (Arabia Saudí, Kuwait e Irak) no han sobrepasado aún de manera evidente su capacidad productiva máxima, su *Peak Oil* particular, y los indicios apuntan a que Arabia Saudí, el segundo mayor productor del mundo, está ya cruzando ese umbral. Tras negarlo durante décadas, la Agencia Internacional de la Energía (organismo dependiente de la OCDE) reconoció por primera vez en su último *World Energy Outlook* (WEO, 2010) que el petróleo crudo superó su *Peak Oil* en 2006, cifrando el máximo flujo de crudo en unos 76 Mb/d de media durante ese año. La Agencia espera que la producción de crudo se pueda mantener en el nivel actual —poco más de 74 Mb/d— hasta 2035, gracias a la puesta en explotación de nuevos yacimientos; sin embargo, Kjell Aleklett y su grupo de la Universidad de Uppsala (Suecia) han puesto en duda que los nuevos yacimientos puedan compensar las pérdidas de productividad de los pozos actuales, porque eso implicaría desviarse de la tendencia histórica de las últimas décadas; ellos prevén, siendo optimistas, una pérdida de producción de entre 10 y 15 Mb/d durante los próximos veinte años. La propia industria petrolera, que durante años se opuso con fuerza al concepto del *Peak Oil*, está empezando a reconocer que habrá problemas de suministro en el futuro; la muestra más reciente de ello son las declaraciones de Peter Voser, consejero delegado de Shell, quien ha admitido que la producción de petróleo crudo decae a un ritmo del 5% anual y que para compensarlo se necesitarían poner en producción cuatro Arabias Saudíes en los próximos diez años. No se trata de una declaración aislada; la nómina de grandes empresas e instituciones que alertan sobre la llegada del *Peak Oil* es cada vez más nutrida: las petroleras Petrobras y Total, la aseguradora Lloyd's (la más grande del mundo), el banco de inversiones HSBC (el décimo por

tamaño a escala mundial), el ejército estadounidense (a través de sus informes anuales *Joint Operation Environment*), el ejército alemán (con un informe específico sobre el *Peak Oil* filtrado a la prensa en septiembre de 2010), el grupo de trabajo Industry Taskforce on Peak Oil and Energy Security (formado por seis grandes empresas británicas), Jeremy Grantham (fundador de GMO, uno de los fondos de inversión más grandes del mundo)... Una rápida revisión de los informes mensuales de la Agencia Internacional de la Energía (*Oil Market Report*) nos muestra que, desde mayo de 2010, el mundo está consumiendo 1 Mb/d más de lo que produce contando petróleo crudo y no convencional, déficit que se está supliendo con los stocks de la industria y, últimamente, con una aportación de las reservas estratégicas que los países guardan para casos de emergencia. Este déficit explica por qué a pesar de la recesión económica que ya se está instalando en Occidente —la cual conlleva una destrucción de la demanda a la que debería ir aparejado un descenso de los precios del petróleo— el precio se mantiene bastante elevado, lejos del deseable nivel de los 80\$ por barril que comentábamos anteriormente. Un problema adicional es la marcada tendencia a la baja de la TRE del petróleo crudo, que hoy en día se sitúa ligeramente por debajo de 20, pero que es muy inferior en los yacimientos *off-shore* (10-15) y de aguas profundas (5-10) por sus costes de explotación (tanto energéticos como económicos); la situación es tanto más dramática cuanto que la propia Agencia estima que para 2020 el 40% de todo el petróleo consumido provendrá de aguas profundas, lo cual implicaría que para ese año la TRE del petróleo se estaría acercando al fatídico valor de 10.

A pesar del estancamiento de la extracción de crudo que estima la Agencia Internacional de la Energía, su previsión es aún que la oferta total de petróleo aumentará gracias a un suave despegue de la producción de petróleos no convencionales (líquidos del gas natural, *gas-to-liquids*, biocombustibles, arenas bituminosas, petróleos extrapesados, petróleos de aguas árticas y de mar abierto, esquistos bituminosos —*oil shale*— y petróleo de esquisto —*shale oil*—, etc.). Efectuar aquí un análisis detallado de todas esas fuentes nos llevaría mucho tiempo; baste decir que la mayoría de estos petróleos sintéticos tienen severos límites a su máxima capacidad productiva por la necesidad de contar con otros recursos en abundancia (principalmente gas natural y agua), que no siempre están disponibles en la zona del recurso de petróleo no convencional, y que en ningún caso lo están a las escalas que serían necesarias para incrementar lo suficiente la producción actual como para compensar la caída de la producción de petróleo crudo. Se trata, además, de petróleos con muy baja TRE (alrededor de 5 para las arenas bituminosas, menos de 4 para el *oil shale*, etc.; Heinberg, 2009), que en el caso de algunos biocombustibles llega a ser prácticamente de 1 (Murphy, Hall y Powers, 2011), y su explotación sólo se explica por las subvenciones. Añádase a esto la falta de incentivos económicos suficientes para realizar las inversiones requeridas en un marco de precios del petróleo muy volátil que vuelve muy incierta la recuperación de la inversión si el precio del barril cae demasiado (como pasó a finales de 2008 tras el pico de precios de julio; como consecuencia de ello, entre 2008 y 2009 la Agencia constató una caída de la inversión en *upstream* de hasta un 20%). Es, por tanto, verosímil pensar que está comenzando el declive de la producción total de petróleo.

*Gas natural:* De todas las materias energéticas no renovables, ésta es la que al parecer alcanzará más tarde su cenit si se mantienen las tendencias de explotación actuales: se produciría hacia 2020 (Bentley, 2002). Sin embargo, el transporte transoceánico del gas natural precisa de costosísimas instalaciones de licuefacción y regasificación que, aparte de la gran inversión inicial, requieren períodos de construcción de cinco o más años. Teniendo en cuenta los

gasoductos proyectados, el alemán *Energy Watch Group* estima que el pico del suministro de gas natural a Europa se producirá hacia 2015 (Seltmann y Zittel, 2009), lo cual es todavía más inquietante. En cuanto a su TRE, actualmente es similar a la del petróleo y es previsible que en el futuro descienda a un ritmo no determinado, aunque la dependencia que la maquinaria tiene de un petróleo cada vez más escaso puede hacer disminuir aún más esa TRE, al tener que utilizarse medios de producción alternativos y menos eficientes.

Mención aparte merece el gas no convencional, y particularmente el denominado «gas de esquisto» (*shale gas*). Durante los últimos tres años ha habido una revolución en EE.UU. gracias a la puesta en explotación de este tipo de pozos en la formación de Bakken y en la de Marcellus, en el este del país. La extracción de gas de esquisto se basa en la técnica de la fractura hidráulica, en virtud de la cual se inyecta agua a presión en los estratos de esquisto, éstos se fracturan y, gracias a los disolventes agregados, se liberan pequeñas burbujas de metano que se recuperan a través del pozo. Aparte de la agresión medioambiental que esta técnica supone (el documental *Gasland*, de Josh Fox, denuncia las filtraciones a los acuíferos, que contaminan el agua de muchas comunidades, y en ciertos entornos la lubricación de las láminas de esquisto puede causar una cierta sismicidad), ha habido una exageración desmesurada de las reservas recuperables de este recurso, conseguida a base de asumir unos perfiles de producción mucho más optimistas que los reales. Recientemente, el Servicio Geológico y Minero de EE.UU. ha rebajado drásticamente, en un 80%, el volumen de las reservas de gas de esquisto de la formación de Marcellus. Aparentemente, muchos pozos no excederían los dos años de producción significativa, lo cual los haría no rentables desde el punto de vista económico y es indicativo de TRE muy bajas, posiblemente por debajo de 5.

*Carbón:* Una revisión reciente del estado de las reservas de carbón y de los estudios sobre su cenit de producción (Heinberg y Friedley, 2010) muestra que la máxima producción energética asociada al carbón se alcanzará en algún momento entre 2011 y 2030 (el cenit volumétrico se alcanzaría hasta veinte años después, ya que existen diversos tipos de carbón y los más energéticos —antracitas y hullas— son los más agotados). Sin embargo, se detectan ya tensiones graves en el mercado mundial de carbón por la alta demanda china (en China aproximadamente un 60% de la energía primaria se obtiene del carbón) y por el rápido crecimiento de la misma (un 10,1% en 2010, según el *BP Statistical Review*; un ritmo tan rápido que implica doblar el consumo cada siete años). La TRE del carbón, sobre todo la de los carbones de alto poder calorífico, es bastante elevada (entre 40 y 80), y a tenor del tamaño de las reservas, de su dispersión mundial y de que el declive de la producción de carbón una vez sobrepasado el pico será sensiblemente inferior al de las otras materias primas energéticas no renovables, se puede predecir que el carbón volverá a ser el combustible de referencia en las próximas décadas. Lo cual es bastante grave dado que es el más sucio de los combustibles fósiles y el más contaminante en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Anticipándose a esta necesidad de volver al carbón, los países occidentales han dedicado ciertos esfuerzos al desarrollo de tecnologías de «captura y secuestro de carbono» (CCS por sus siglas en inglés), destinadas a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al uso de carbón. Sin embargo, la mejor de estas instalaciones implica disminuir la energía producida en un 50%, y como consecuencia de que el carbón también se está agotando y de las dificultades económicas y financieras de un mundo escaso de recursos energéticos, es evidente que tales instalaciones no se pondrán en marcha a escala significativa.

*Uranio:* La producción actual a escala global es de unas 59.000 toneladas de uranio natural equivalente (datos del WEO, 2010), por debajo del máximo de 70.000 toneladas que se alcanzó en 1980. Este descenso de la producción no vino motivado por razones geológicas sino por una insuficiencia de la demanda; sin embargo, con el despliegue a escala global de un gran número de plantas nucleares, la demanda ha ido creciendo a un ritmo mayor que aquel al que se ha recuperado la extracción del mineral de uranio, de modo que actualmente se consumen unas 70.000 toneladas, más uranio que el que se saca de las minas. La diferencia, 11.000 toneladas, se ha estado obteniendo de las llamadas «reservas secundarias», que no son más que el uranio previamente extraído de las minas procesado y almacenado. La mayor parte de este uranio de stock proviene del desmantelamiento de misiles rusos en cumplimiento del tratado Start II, dentro del programa *Megatons per Megawatts*, hasta el punto de que, en la actualidad, el 50% del uranio consumido en EE.UU. proviene de las cabezas nucleares rusas. Rusia ha anunciado su deseo de no renovar el contrato de suministro de uranio cuando expire, en 2013, y por ese motivo la Agencia Internacional de la Energía Atómica viene alertando desde 2006 de la inminencia de problemas con el suministro de uranio a escala global. Por ejemplo, la muy nuclearizada Francia ha sufrido durante los últimos dos años algunos problemas puntuales de suministro, como en el invierno de 2009, y tiene dificultades sobre el terreno con su suministrador principal de uranio (el 66%), Níger, donde, aparte del hostigamiento por parte de guerrillas locales, sufre la presión concurrente de China. Un reciente y detallado estudio de los yacimientos de uranio (Dittmar, 2011) concluye que el cenit de la producción de uranio se producirá hacia 2015, sin llegar a cubrir la demanda actual, con lo que la situación en lo que respecta a la energía nuclear es peor que en el caso de otros combustibles, ya que aquí se producirá una caída abrupta del suministro global por el cierre de los arsenales rusos. El problema es especialmente grave si se tiene en cuenta que el ritmo del declive que se espera tras el cenit es muy rápido, superior al 6% anual, y que la extracción de uranio requiere de grandes cantidades de energía fósil, sobre todo de petróleo. De hecho, algunos estudios (Hall, Balogh y Murphy, 2009) sugieren que la TRE de la energía nuclear es de 10 o ligeramente inferior, y eso sin contar con los costes de gestión de los residuos más allá de sesenta años, que es el horizonte estándar en la industria, lo cual estaría en consonancia con las dificultades de rentabilizar la energía nuclear. Por otro lado, la posibilidad de usar MOX, reaprovechando parte del combustible usado, está limitada a los costes de adaptación de las centrales, los cuales son muy elevados. Respecto al futuro inmediato, las esperanzas están puestas en la cuarta generación de reactores, particularmente en los «reactores rápidos regeneradores» (*fast breeder reactors*), que podrían transmutar los residuos radiactivos más peligrosos aprovechándolos como combustible y utilizar otros materiales fisionables como el torio; sin embargo, sesenta años de experimentación y seis reactores experimentales no han permitido resolver algunos graves problemas de diseño asociados a esta peligrosa tecnología, y no es previsible que se consigan grandes avances en breve. Finalmente, respecto al futuro lejano, a pesar de las esperanzas depositadas en el reactor Iter de fusión nuclear, conviene recordar que éste es sólo el primero de tres reactores (Iter, Proto y Demo) antes de que se llegue al modelo comercialmente explotable, hacia el año 2070, y eso suponiendo una financiación estable del proyecto. Algunas voces críticas (entre ellas varios premios Nobel de Física franceses) denuncian la imposibilidad de cumplir algunos requisitos imprescindibles y la inviabilidad del proyecto (Charpak, Trenier y Balibar, 2010).

## **Estado actual y futuro a corto y medio plazo de las fuentes de energía renovables**

Uno de los primeros problemas con los que uno se encuentra al analizar la energía renovable es que su diseño actual está orientado a la producción de electricidad. Sin embargo, la electricidad no es más que el 21% de la energía final que se consume en España (datos del Ministerio de Industria, 2011). Resulta por tanto imprescindible transformar esta electricidad en otras formas de energía que sean aprovechables para ese 79% de usos no eléctricos, o bien transformar esos usos no eléctricos en eléctricos. Al final el problema estriba en conseguir sistemas de almacenamiento de la electricidad, ya sea de tipo combustible (hidrógeno) o bien de tipo batería. En los últimos años, el diseño basado en pilas de combustible para convertir el hidrógeno en electricidad ha sido arrinconado por la industria en favor de las baterías. Esta elección no es sorprendente si se tiene en cuenta que la producción de hidrógeno por electrólisis del agua implica una pérdida energética del 50%, que el hidrógeno es un material difícil de confinar debido a lo diminuto de su molécula (se necesitan depósitos con paredes densas y hechos de un acero especial para evitar que se escape) y que las pilas de combustible usan materiales raros y caros como el platino, lo que hace que su uso a gran escala sea inviable, en espera de una revolución tecnológica que no llega. Sin embargo, la apuesta por las baterías no está exenta de problemas. La tecnología utilizable hoy en día es la de las baterías de litio en sus diferentes variantes, pero el litio tiene diversos problemas, no siendo el menor de ellos la limitada producción mundial de este metal (unas 30.000 toneladas anuales de litio metálico, apenas suficiente para producir unos pocos millones de híbridos tipo Chevrolet Volt; piénsese que en el mundo hay alrededor de mil millones de coches y vehículos ligeros, por lo que reemplazar todo este parque automovilístico llevaría siglos, y eso sin contar los otros muchos usos del litio, como las baterías de los portátiles, los móviles y las tabletas, la cerámica, cierta metalurgia industrial especializada y hasta medicamentos para la estabilización del ánimo). Las baterías también presentan el problema conocido como «efecto memoria» o «histéresis», por razón del cual su capacidad disminuye en cada ciclo de carga, y esto dificulta encontrar modelos de negocio económicamente razonables y que sean atractivos para el cliente, ya que las baterías tendrán que ser reemplazadas varias veces durante la vida del vehículo o de la instalación industrial. Existen otros muchos problemas asociados a este tipo de solución (bajas prestaciones de los vehículos eléctricos, riesgos de explosión de las baterías de tamaño industrial, estabilidad de la red, materiales necesarios, costes de capital, retorno de la inversión, etc.), pero quiero destacar uno particularmente llamativo: se habla mucho de la quimera del coche eléctrico, pero no se encuentran prácticamente alusiones al camión eléctrico, al tractor eléctrico, a la excavadora eléctrica... lo cual es bastante lógico si se tiene en cuenta que la densidad energética máxima que se espera para las baterías de litio, de alrededor de 0,5 Megajulios por litro, es unas cien veces inferior a la de la gasolina o el gasoil. Y es que es inviable fabricar maquinaria de altas prestaciones basándose en baterías eléctricas por falta de potencia de las mismas. Por diferentes motivos, resultaría también muy difícil construir hornos de alta temperatura eléctricos y otros tipos de instalación industrial, lo cual hace pensar que necesitaremos mantener una cierta producción de biocombustibles, aunque sea con pérdida de energía. Las dificultades de electrificar la sociedad, no resueltos técnicamente a pesar de los esfuerzos financieros realizados en las últimas décadas, conducen a que la inversión en generación renovable sea cada vez menos atractiva, pues hace crecer una oferta que no se ve correspondida por la demanda (al revés, la demanda eléctrica en España ha caído desde 2008). Y, sin embargo, éste no es el único (y último) problema de la generación renovable.

La TRE de los diversos sistemas de explotación renovable es muy variable, desde los más de 100 de la gran hidráulica pasando por el 20 que se estima para la eólica, hasta llegar al escaso 2,7

para las placas fotovoltaicas actualmente instaladas (Prieto y Hall, en prensa). La gran perdedora aquí es, sin duda, la fotovoltaica convencional, dado que con una TRE tan baja la generación energética de la sociedad no se puede basar en ellas, y no es previsible que mejore significativamente en vista de que los prototipos de mayor eficiencia se construyen usando materiales raros (telurio, entre otros) que son energética y económicamente caros, lo que va en detrimento de su TRE; a medida que las subvenciones vayan disminuyendo, el uso de la fotovoltaica quedará restringido a aplicaciones específicas y no como fuente de energía. Pero existe el problema añadido de la dependencia que todos los medios de generación de energía renovable tienen de los combustibles fósiles, puesto que al calcular la TRE lo hacemos basándonos en los combustibles que tenemos hoy en día a nuestra disposición, y no sólo en la propia energía que generan estas fuentes renovables. La realidad es que nuestras grandes instalaciones renovables (presas hidráulicas, aerogeneradores, parques solares, presas mareográficas, etc.) dependen mucho de los combustibles fósiles para su creación, instalación y mantenimiento, sin los cuales su TRE sería muy baja, incluso inferior a 1 en algunos casos; es por ello que algunos autores hablan de «extensiones de los combustibles fósiles» (*fossil fuel extenders*) o, como dice Pedro Prieto, de sistemas no renovables para la generación de energía renovable. Además, el futuro de estas grandes instalaciones no es demasiado alentador: dado su gigantismo industrial, su operación y mantenimiento no son viables sin combustibles fósiles; piensen, por ejemplo, en tener que reparar el aspa de un aerogenerador de 40 metros de largo a una altura de 80 metros sin usar grandes grúas, o en tener que dragar los sedimentos de un pantano para contrarrestar el lento efecto de su colmatación (que conlleva una pérdida de capacidad de almacenamiento de un 0,5% de media en España).

Las necesidades de capital de estas fuentes no son, además, nada desdeñables: según el *WEO2009*, el mundo instalará de aquí a 2030 3,32 TW de potencia renovable nueva, a un coste de 13,2 billones de dólares. Con esas cifras en la mano, y asumiendo una capacidad de carga (es decir, el porcentaje de energía realmente producida respecto al máximo posible, descontando por tanto las paradas de mantenimiento, las averías, la pérdida de rendimiento por sol o viento insuficientes, etc.) del 20% —un porcentaje bastante optimista—, sustituir completamente los 6 exajulios de energía primaria consumida anualmente en España (datos de 2008) implicaría instalar 1 TW eléctrico (asumiendo que las ganancias de eficiencia de los motores eléctricos son compensadas por otras pérdidas de transformación en otros usos de la energía), de modo que las necesidades de capital serían de 4,12 billones de dólares, es decir, algo menos de 3 billones de euros: tres veces el PIB de España. Si España se embarcase en una colosal cruzada energética, adoptando prácticamente una economía de guerra en la que el 10% del PIB se destinase sólo a sufragar la transición, y suponiendo que el territorio nacional pudiera producir toda esa energía, se necesitarían 32 años para completar tal proeza, y eso sin tener en cuenta los costes financieros y otros gastos indirectos. Aunque fuese técnicamente factible (que probablemente no lo es, por las dudas que hay acerca de la posibilidad de poder generar tanta energía con fuentes locales), y dejando de lado el problema de la TRE sin combustibles fósiles, es evidente que, en el marco de un sistema de economía de mercado, el capital privado no acometerá una inversión tan grandiosa y de tan dudosa o nula rentabilidad.

El futuro que es más razonable esperar en cuanto a la generación renovable es un estancamiento más o menos en los niveles actuales, cuando no una caída progresiva por la destrucción de la demanda eléctrica subsiguiente a una crisis económica sistémica y la imposibilidad de sustituir eléctricamente algunos usos de la energía.

## Conclusiones

Cuando acabo de explicar éstos y algunos otros argumentos sobre el futuro energético, a mis interlocutores suele embargarles un estado de frustración y desesperanza (cuando no de incredulidad). En esencia, me dicen, mi discurso es muy catastrofista, y por ese motivo no puede ser creíble. Y ése es el problema de esta sociedad infantilizada: que no es capaz de encarar como un adulto crudas verdades objetivadas con datos y que necesita ver un futuro edulcorado, con *happy end*. Sin embargo, mi discurso no es de desesperanza y de apocalipsis; no estoy hablando del fin del mundo, pero sí del fin de este mundo, de esta manera de hacer las cosas. La humanidad no está condenada a colapsar y desaparecer si, aunque fuera tan sólo por una vez, actuase con entereza e inteligencia.

Lo primero que se debe hacer es atacar la raíz de los problemas. No necesitamos aumentar la cantidad de energía que consumimos o sustituir su generación con los medios actuales por la generación con otros medios. Lo que necesitamos en realidad es tener un sistema económico, un modelo de explotación de los recursos, que no requiera de producciones crecientes de bienes y servicios. En suma, tenemos que pasar de una sociedad centrada en el consumo a una sociedad centrada en la sostenibilidad. Pero no tenemos que hacerlo porque tengamos una fuerte conciencia ecológica, sino porque no se puede evitar, porque un modelo de crecimiento continuo en un planeta finito no puede proseguir por siempre. Y no se puede recurrir a los clásicos argumentos cornucopianos de que el ingenio humano proveerá nuevos recursos y de que se alerta en vano de la escasez desde hace muchos años, cuando las estadísticas oficiales están reflejando ya el estancamiento de la producción de petróleo, preludio de su declive terminal, y se está previendo que las otras materias no renovables seguirán el mismo camino en la próxima década. Es hora de dejar de darnos excusas vacías y de apostar por la vida, por instaurar un nuevo modelo de economía y de relaciones comerciales y humanas.

Son muchas las transformaciones que hace falta hacer, y son terriblemente contradictorias con el *diktat* económico que ha imperado en Occidente en las últimas décadas. Hace falta eliminar la producción de bienes superfluos, favorecer el reciclaje, la reutilización y la reparación. Hay que relocalizar la producción para evitar desperdiciar energía en costosas redes de larga distancia, así como atender las necesidades locales. Hay que apostar por las energías renovables, pero probablemente con otro modelo más basado en la producción local, en instalaciones de tamaño humano y no necesariamente para producir electricidad. Se tiene que garantizar el suministro de alimentos, hoy en día fuertemente dependiente del insumo de petróleo y gas natural a través de maquinaria, pesticidas y fertilizantes (se estima que, en el mundo occidental, son necesarias hasta diez calorías de combustibles fósiles para producir cada caloría de alimento; véase Pfeiffer, 2006). Hay, por supuesto, que renunciar al coche privado y asegurarse de que llega suficiente combustible para la producción alimentaria y eléctrica, y para el mantenimiento de las infraestructuras esenciales. Y hay que conseguir mantener la estabilidad y cohesión social en medio de cambios tan radicales y profundos, garantizando al mismo tiempo unas condiciones de vida dignas para todo el mundo.

Todos estos cambios no son nada sencillos, pero además no son optativos: las reformas a emprender son inevitables, simplemente por la falta de recursos. La naturaleza no negocia. Y

cuanto más apalcemos la puesta en marcha de los cambios necesarios, mayor tensión se acumulará en una sociedad que no entiende adónde se fue el crecimiento del pasado y por qué cada vez es más pobre, y mayor es el riesgo de un devastador estallido social que nos dejaría más incapacitados para el cambio.

Tras una agotadora reunión, ya de madrugada, los líderes europeos han acordado crear un fondo de un billón de euros para continuar tapando los agujeros del sistema financiero. ¿Es ésa la inversión que se debería estar haciendo? ¿Sirve para preparar la transición necesaria? Sin duda, no; tales actividades son sólo torpes intentos de prolongar un poco más un modelo ya inviable. Y cuanto más posterguemos la toma de medidas adecuadas, más dura será la transición posterior a un futuro de menor consumo.

## Bibliografía

- BENTLEY, R. W. (2002): «Global oil & gas depletion: an overview», *Energy Policy*, n.º 30, pp. 189-205.
- CHARPAK, G., J. TRENIER y S. BALIBAR (2010): «Nucléaire : arrêtons Iter, ce réacteur hors de prix et inutilisable», *Libération*, 10 de agosto de 2010.
- DITTMAR, M. (2011): «The end of cheap uranium», Davos Forum Discussion Paper (hay una versión disponible en la base de artículos científicos ArXiv: <http://arxiv.org/abs/1106.3617>).
- FOUCHER, S. y J. J. BROWN (2007): «Declining net oil exports—a temporary decline or a long term trend?», *The Oil Drum*, 27 de septiembre de 2010 (disponible online en [www.theoil drum.com/node/3018](http://www.theoil drum.com/node/3018)).
- HALL, C. A. S., S. BALOGH y D. J. R. MURPHY (2009): «What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have?», *Energies*, n.º 2, pp. 25-27.
- HAMILTON, J. (2009): «Causes and consequences of the oil shock of 2007-2008», *Brookings papers on Economic Activity*.
- HARRIS, M. (1997): *Culture, People, Nature. An Introduction to General Anthropology*, Allyn & Bacon. (Ed. cast.: *Introducción a la antropología general*, Alianza, Madrid, 2004.)
- HEINBERG, R. (2009): *Searching for a miracle*, Post Carbon Institute, Santa Rosa.
- HEINBERG, R. y D. FRIDLEY (2010): «The end of cheap coal», *Nature*, n.º 468, pp. 367-369.
- LEE, R. B. (1968): «What Hunters Do for a Living, or How to Make Out on Scarce Resources», en R. B. Lee e I. DeVore, eds., *Man the Hunter*, Aldine, Chicago, pp. 30-43.
- MURPHY, D. J., C. A. S. HALL y B. POWERS (2011): «New perspectives on the energy return on (energy) investment (EROI) of corn ethanol», *Environment, Development and Sustainability*, n.º 13 (1), pp. 179-202.
- PFEIFFER, D. A. (2006): *Eating fossil fuels. Oil, Food and the Coming Crisis in Agriculture*, New Society Publishers, Gabriola Island.
- PRIETO, P. y C. A. S. HALL (en prensa): *Energy Returned on Energy Invested from Solar Photovoltaic Power in Spain*, Springer («Briefs in Energy»), Nueva York.
- SELTMANN, T. y W. ZITTEL (2009): «Natural gas reserves: a false hope», *Sun and Wind Energy*, n.º 12, pp. 16-19.
- WORLD ENERGY OUTLOOK (2010): *WEO2010*, Agencia Internacional de la Energía, 9 de noviembre de 2010.