

mientay tauts

117



MINISTERIO
DE CULTURA

Esta revista ha recibido una subvención de la Dirección General del Libro, Archivos y Bibliotecas para su difusión en bibliotecas, centros culturales y universidades de España, para la totalidad de los números editados en el año.

- consejo editorial** Alfons Barceló, Lourdes Benería, Ernest Cañada, Juan-Ramón Capella, Xavier Domènech, José Antonio Estévez Araujo, Josep González Calvet, Antonio Giménez, José Luis Gordillo, Elena Grau, Antonio Izquierdo, Carles Mercadal, Julia López, Miguel Ángel Lorente, Antonio Madrid, Xavier Pedrol, Alejandro Pérez, Gerardo Pisarello, Albert Recio, Víctor Ríos, Jordi Roca, Joaquim Sempere, Héctor C. Silveira Gorski, Giaime Pala, Verena Stoleke, Enric Tello, Josep Torrell
- consejo de redacción de esta entrega** Juan Carlos Abril, Juan-Ramón Capella, Xavier Domènech, Luis García Montero, Antonio Giménez, José Antonio Estévez Araujo, José Luis Gordillo, Antonio Madrid, Carles Mercadal, Giaime Pala, Xavier Pedrol, Gerardo Pisarello, Albert Recio y Josep Torrell
- dirección redacción** © Fundación Giulia Adinolfi - Manuel Sacristán
Apartado de Correos 30059, Barcelona
- edita** **Icaria** ✿ **editorial**
Arc de Sant Cristòfol, 11-23 / 08003 Barcelona
www.icariaeditorial.com
- dirección suscripciones** Apartado de Correos 857, Barcelona
- cubierta y grafismo** Josep Maria Martí
- imprime** Romanyà/Valls, S.A.
Verdaguer 1, Capellades (Barcelona)
- fotocomposició** Text-gràfic
- depósito legal** B-35.842-79
- ISSN** 0210-8259
- publicación trimestral de ciencias sociales**
- la revista admite colaboraciones en cualquiera de las lenguas peninsulares

ÍNDICE

Los límites del crecimiento: crisis energética y cambio climático	5
El declive energético por Antonio Turiel	11
Techo del petróleo y economía por Roberto Bermejo	27
No existe alternativa a las energías renovables. El imperativo natural largamente reprimido por Hermann Scheer	47
La energía neta de la solar fotovoltaica en España. Los límites del desarrollo renovable por Pedro A. Prieto	69
¿Reducir emisiones para combatir el cambio climático? Depende por Ferran Puig Vilar	97
La transición alimentaria y agrícola por Richard Heinberg y Michael Bomford	123
CUESTIÓN DE PALABRAS por Rafael Fombellida	158
CITA	164



 Impreso en papel ecológico
(libre de cloro).



mientrastanto.e

Mientras tanto está publicando un boletín electrónico de periodicidad mensual. Quienes deseen suscribirse gratuitamente a *mientrastanto.e* pueden solicitarlo a la dirección siguiente:

suscripciones@mientrastanto.org

Los límites del crecimiento: crisis energética y cambio climático

Burbuja inmobiliaria y crediticia, rescates bancarios, crisis de la deuda soberana, aumento de la prima de riesgo, programas de «consolidación fiscal», recortes del sistema asistencial... Todos ellos son conceptos y fenómenos con los que, en el contexto de la profunda crisis económica en curso, la gente se ha ido familiarizando en los últimos tres años y que están ocupando un lugar cada vez más central en su escala de prioridades y preocupaciones. Desde luego, no sin razón: tras unos meses en que se ha vislumbrado una incipiente recuperación de la actividad económica mundial y la posibilidad de volver a generar empleo, la economía está volviendo a zozobrar y las esperanzas de millones de parados de conseguir un puesto de trabajo se están viendo frustradas, una situación que en el caso de España se ve agravada porque el subsidio por desempleo viene con fecha de caducidad incorporada, tras la cual se abre el abismo de la pobreza, la exclusión social y el desahucio. Para intentar arreglar el desaguado, y en el encorsetado contexto de un sistema económico que requiere tasas de crecimiento de un 2 o 3% para que se empiece a reactivar la creación de empleo y exista alguna posibilidad de que los múltiples deudores puedan resarcir las abultadas deudas contraídas en estos años de financiarización rampante de la economía, se suceden en todo el mundo los debates sobre las medidas que sería

preciso adoptar para, como se dice, «retomar la senda del crecimiento». En este sentido, si bien es verdad que las dos grandes corrientes de pensamiento económico que monopolizan ese debate —una, la neoliberal, desde una posición dominante y ampliamente aceptada por las élites políticas, financieras y académicas, y la otra, la nekeynesiana, desde una posición de debilidad patente— presentan diferencias relevantes en cuanto a la sensibilidad social e incluso ambiental de sus respectivas propuestas para superar la crisis económica, parece claro que ambas caen en la esfera de un economicismo cortoplacista que lo supedita todo a tasas de crecimiento sostenidas en el curso del tiempo y al fomento del consumo —«consumir es patriótico», como llegó a afirmar el secretario general de la Confederación Española de Comercio hace dos años—, y que no se plantea en ningún momento que la deseada y buscada *infinitud* de ese crecimiento se contradice a todas luces con la *finitud* de los recursos naturales y energéticos y con el acuciante y gravísimo problema del cambio climático.

En estos tiempos de crisis, la imperecedera codicia de unos pocos y las comprensibles ansias de la mayoría por no perder su nivel de vida o por recuperar el perdido están llevándonos quizás a una miopía creciente en virtud de la cual estamos centrando cada vez más la vista en un árbol (el del regreso a la «senda del crecimiento») que nos impide ver el bosque, a saber: que la economía está íntimamente vinculada a la disponibilidad de energía —y, más concretamente, de energía *neta*—; que dicha disponibilidad ha alcanzado ya su techo o cenit en el caso de fuentes como el petróleo crudo, fundamental para el transporte de personas y mercancías e indudable motor histórico del gran crecimiento económico registrado en la segunda mitad del siglo xx y de la globalización; que los sustitutos del crudo convencional actualmente en desarrollo no podrán paliar ni por asomo el acusado declive que están registrando la mayoría de los yacimientos (a un ritmo anual que sorprenderá a los lectores y lectoras que no estén familiarizados con este asunto), implicarán un sensible encarecimiento del precio del petróleo y ofrecerán densidades energéticas cada vez más pobres en comparación con las de este último; que esa misma fiebre y urgencia por aumentar la producción de los nuevos tipos de carburante no hace sino

exacerbar la presión sobre otros recursos naturales vitales como las tierras de cultivo y el agua, incrementa el precio de los alimentos, contribuye a intensificar la emisión de gases de efecto invernadero y entraña graves riesgos ambientales; y un largo etcétera.

Por otro lado, si a todo ello le añadimos que las otras fuentes de energía fósil (carbón, gas y uranio) también se encuentran a pocos lustros o incluso a pocos años de alcanzar su propio cenit y que los esfuerzos ya en desarrollo por explotar nuevos yacimientos no convencionales conllevan un aumento imparable de los costes extractivos y una degradación ambiental a una escala sin precedentes, resulta más que evidente que la actual civilización industrial y el modelo económico asociado a ella tienen los años contados (y sí, hablamos de pocos años, no ya de décadas). De todo ello tratan los dos primeros artículos de este número monográfico, el de Roberto Bermejo y el de Antonio Turiel, cuyas conclusiones no dejan lugar a dudas sobre los potenciales efectos económicos del pico del petróleo y de los demás combustibles fósiles, que oscilarán entre lo traumático (en caso de acometerse un decrecimiento y una transición energética planificada, una transformación profunda del sistema y de los hábitos de transporte, una involución del proceso de globalización y una rerruralización en clave ecológica de la economía) y lo catastrófico (en el caso de proseguir con el modelo actual, adicto a los combustibles fósiles, a la necesidad de crecimiento perpetuo y al consumo desaforado).

* * *

Pero ¿existen alternativas energéticas sólidas que puedan reemplazar en buena medida el enorme volumen de energía neta que se perderá en el futuro como consecuencia del cenit de los combustibles fósiles? La respuesta, en principio, puede parecer evidente, y es la que el ecologismo político siempre ha defendido: el rápido desarrollo tecnológico de las energías renovables y su acelerado despliegue en algunos países demuestran que es posible alcanzar ese objetivo e incluso cubrir la totalidad de la demanda energética en el plazo de unas pocas décadas (en apoyo de esta línea de argumentación, incluimos en este número monográfico un texto de Hermann Scheer en el que el autor, recientemente fallecido,

7

plantea la necesidad ética de efectuar una transición energética que deje de lado la adicción a los combustibles fósiles y los evidentes peligros que entraña la energía nuclear, y en el que defiende la plena factibilidad de dicha transición basándose en el modelo energético que él mismo ayudó a impulsar en Alemania en la última década, donde las previsiones de expansión de las energías renovables, inicialmente conservadoras por no decir pesimistas, se han visto repetidamente superadas por la realidad). Sin embargo, no todos los especialistas en cuestiones energéticas comparten ese optimismo y existen ya varios estudios que arrojan una sombra de duda sobre la posibilidad de reemplazar en un grado significativo las fuentes de energía fósil por otras renovables. En su artículo, ya Antonio Turiel plantea las enormes dificultades que comporta electrificar todo el sistema energético de las economías industrializadas, el callejón sin salida que constituirá la prevista generalización de los vehículos eléctricos y el desmesurado esfuerzo financiero y material que implicaría esa transformación, y en la misma línea hemos decidido incluir un artículo de Pedro Prieto en el que, basándose en recientes estudios técnicos sobre la energía neta que suministran los actuales paneles fotovoltaicos y otras fuentes de energía no fósiles, se pone seriamente en duda la viabilidad, al menos por el momento, de que en el futuro estas últimas cubran un porcentaje muy significativo de las enormes necesidades energéticas que tiene —y que sin duda tendrá— la humanidad.

Somos conscientes de que el tema es delicado y de que buena parte de la artillería argumental a favor y en contra de las energías renovables se nutre de previsiones de futuro que no dejan de ser una incógnita —¿qué grado de desarrollo tecnológico se habrá alcanzado dentro de unos años?; ¿será posible mejorar sensiblemente la eficiencia energética sin seguir cayendo en la trampa de la «paradoja de Jevons»?— y de factores asociados a menudo a la voluntad política y financiera de las instituciones estatales y regionales, pero hemos creído conveniente reproducir un debate que ya está alcanzando cierto grado de madurez y en el que, en vista del crucial papel económico que desempeñará el cenit de las distintas energías fósiles, debería irse más allá de la simple defensa acrítica de las energías renovables, por muy necesaria que sea a priori su difusión a gran escala. Desde luego, argumentos a su favor hay en abundan-

cia (por ejemplo, resulta sintomático comprobar que, a diferencia del resto, Alemania ha sido el único país industrializado que últimamente ha logrado desacoplar en cierta medida su crecimiento económico de su consumo de energía, hecho en el que las renovables han tenido sin duda un gran peso), pero de ahí a presuponer que un modelo como el germano podrá ser fácil y rápidamente aplicable al resto de los países hay un trecho considerable, y mucho más si ese esfuerzo hay que realizarlo en el contexto del acentuado deterioro económico que se producirá como consecuencia del cenit del petróleo.

* * *

Finalmente, no queríamos dejar de incluir otros dos textos, complementarios de los anteriores, que abordan algunos de los múltiples ámbitos que pueden verse afectados por el fenómeno del cenit del petróleo y de las demás energías fósiles. Aunque podríamos haber incorporado algún artículo sobre las graves consecuencias geopolíticas y bélicas que pueden derivarse de él (a nadie se le escapa que la lucha por los recursos energéticos ha sido un factor clave en la mayoría de las guerras ocurridas a lo largo de la historia ni que prácticamente todos los conflictos bélicos importantes de las dos últimas décadas han tenido como claro trasfondo las ansias por controlar los yacimientos petrolíferos y gasísticos de ciertos países productores, como ha demostrado fehacientemente la hipócrita intervención de la OTAN en el conflicto civil libio), hemos optado por ocuparnos dos asuntos que también están muy vinculados: el cambio climático y el futuro de la producción alimentaria.

En el caso del primero, el artículo de Ferran Puig Vilar se encarga de argumentar por qué, a pesar de lo que pueda sugerir el sentido común, una reducción de la emisión de gases de efecto invernadero es improbable que lleve aparejada una ralentización automática del aumento de la temperatura. Como ya sabrán los lectores y lectoras, el sistema climático del planeta es un mecanismo muy complejo, y, según expone el autor, las investigaciones científicas realizadas en los últimos años permiten afirmar ya con total certeza que la temperatura de la Tierra aumentará inevitablemente, y no poco, aunque la emisión de gases de efecto inver-

nadero se reduzca de modo acelerado. Por último, en lo referente a la producción alimentaria, hemos incluido un texto de Richard Heinberg y Michael Bomford en el que se analizan los funestos efectos que podría tener el pico de los combustibles fósiles sobre los sistemas agrarios en caso de seguir incentivando el actual modelo agroindustrial, y que de hecho ya se están manifestando en parte en el incremento del precio de multitud de alimentos registrado en los últimos años (en este sentido, y como sucede con el petróleo y con otras materias primas tanto energéticas como no energéticas, parece un error atribuir en exclusiva dicho aumento a la especulación, aunque ésta pueda desempeñar un papel muy relevante).

Examinado desde la perspectiva actual, el sistema de producción agroindustrial puede parecer muy sólido y perfectamente capacitado para alimentar a toda la población mundial, y es indudable que hoy en día la existencia de más de mil millones de personas hambrientas se debe a un reparto extremadamente injusto de la producción alimentaria y de las tierras antes que a una escasez real. No obstante, si atendemos a una serie de variables nada halagüeñas (la fuerte dependencia que la agroindustria tiene de los combustibles fósiles, la sobreexplotación de los acuíferos y las reservas de agua dulce, la creciente erosión de las tierras de cultivo, la expansión de los agrocombustibles, la extraordinaria amenaza del cambio climático o el previsto incremento de la población mundial), nada nos garantiza que en el futuro las hambrunas no sean ya fruto de problemas con el volumen de comida disponible. Es por ello que Heinberg y Bomford insisten en la potencial gravedad del asunto y en la necesidad de impulsar una transición hacia un modelo alternativo que permita alimentar a toda la humanidad en un contexto en que fallarán la mayoría de los factores energéticos, ambientales y climatológicos que han permitido triplicar la población mundial en los últimos sesenta años.

C. M.

El declive energético

ANTONIO TURIEL*

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 disponibili-

* 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.

dad 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 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 des-

cubrimiento 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 con-

trolar 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 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 comentá-

bamos 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 CO₂. 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 CO₂ 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 invia-

ble, 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 resueltas 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 gene-

ración 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).
- 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.

Techo del petróleo y economía

ROBERTO BERMEJO*

Prólogo

Cada día es más evidente que el petróleo ha alcanzado ya el techo (o está muy próximo a él), que es el punto de máxima extracción. Ello constituye una amenaza extraordinaria para la civilización industrial, porque ésta se ha construido sobre la base de los combustibles fósiles y en especial del petróleo. Por tanto, es de gran relevancia analizar los impactos del techo. Este artículo estudia en primer lugar el techo, para pasar luego a analizar las causas de la crisis actual y, posteriormente, estimar las transformaciones que previsiblemente producirá ese fenómeno.

1. Aproximación al techo del petróleo

1.1 Reservas

Los organismos oficiales y las empresas utilizan el término «todos los líquidos» para identificar un conjunto de combustibles que tienen relación con el petróleo, porque permite esconder la realidad: que el petróleo (crudo) es menguante. Los líquidos contabilizados son: el denominado «crudo» (que es petróleo obtenido directamente y del que existen calidades muy dispares); el condensado (petróleo fruto de la condensación del gas natural bruto asociado al petróleo); el gas natural líquido, que se obtiene en plantas separadoras del gas bruto y está formado por propano, butano, pentanos, etc.; el petróleo hiperpesado

*Miembro del Grupo de Investigación en Economía Ecológica y Ecología Política-EKOPOL (www.ekopol.org) y profesor del Departamento de Economía Aplicada I de la Universidad del País Vasco.

(especialmente en Venezuela), del que no se extraen los destilados más ligeros que tiene el crudo, pero sí los intermedios y gran abundancia de pesados; betunes de los que se obtienen gasolinas, como el de arenas bituminosas (principalmente de Canadá); el de pizarras bituminosas; gasolinas obtenidas del carbón; agrocombustibles, etc. La extracción de petróleos muy pesados se parece más a la minería que a la típica extracción de petróleo y es muy lenta, y después esos petróleos son sometidos a un complejo proceso industrial. Sólo la mitad del betún de arenas bituminosas es convertido en petróleo sintético una vez procesado (Schindler *et al.*, 2007: 7 y 8).

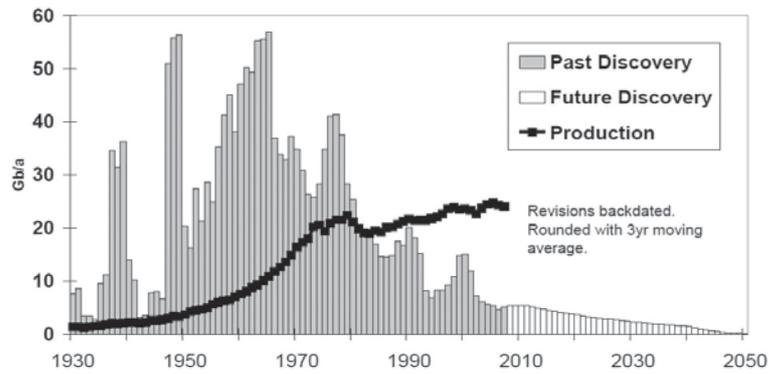
La gran mayoría de los estudios llegan a la conclusión de que las reservas originarias de petróleo convencional oscilan en torno a los 2.000 Gigabarriles (Gb). El informe «Global 2000», publicado en 1980 por orden del presidente Carter, el más exhaustivo que se ha elaborado, estima unas reservas originarias de 2.100 Gb. La Association for the Study of Peak Oil (ASPO, una organización internacional dedicada al estudio del techo del petróleo y a concienciar a los gobiernos y las sociedades sobre el problema) mantiene la estimación más baja, 1.900 Gb, mientras que la estimación media de 65 consultoras, compañías petroleras y otros entes es de algo menos de 2.000 Gb; ello supone que se han utilizado ya la mitad de las reservas originarias (*ASPO Newsletter*, diciembre de 2003; AIE, 2008).

El gráfico 1 muestra el declive de los nuevos descubrimientos en un contexto de aumento del consumo; descubrimientos que alcanzaron su techo en 1964 y que ahora experimentan una caída de alrededor del 5% al año. A partir de 1981 el petróleo nuevo es incapaz de satisfacer la demanda y la brecha aumenta. Se considera que, en la actualidad, de cada tres barriles consumidos sólo uno es de petróleo nuevo. Desde finales de la década de los setenta (período en el que se descubrieron la provincia petrolífera del mar del Norte y los yacimientos supergigantes de la bahía de Prudhoe en Alaska y de Cantarell en México) no se han descubierto yacimientos de este tipo, y los gigantes que se han hallado tienden a cero. El petróleo de aguas profundas (> 500 m) es el recurso nuevo de mayor importancia (se le estiman un 7-8% de las reservas mundiales), pero tendrá una vida breve (después del techo, los yacimientos se agotan a un ritmo anual del 6-12%). Además, existe un alto riesgo de que se produzcan accidentes, sobre todo en los yacimientos ultraprofundos (> 1.500 m) (*ASPO Newsletter*, abril de 2009; Bukold, 2010).

1.2 Oferta

Los yacimientos gigantes que han satisfecho la mayor parte de la demanda se están agotando y los nuevos se muestran cada vez más incapaces de sustituirlos. El 70% del petróleo proviene de yacimientos de más de 30 años. Unos 120 yacimientos con una capacidad de bombeo superior a 100.000 b/d

Gráfico 1
La brecha creciente del petróleo

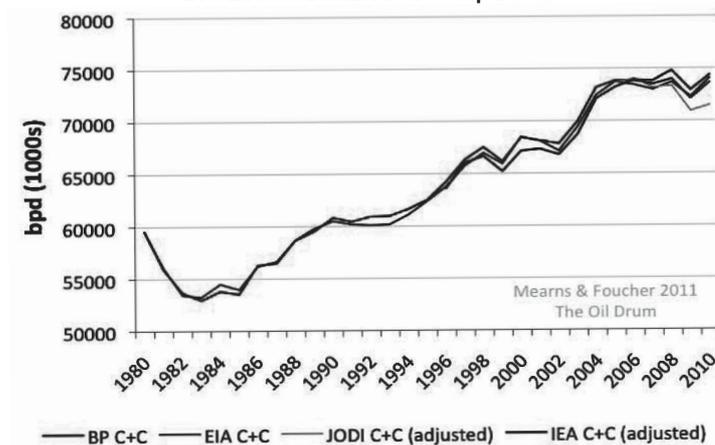


Fuente: Murphy (2011).

(barriles diarios) cada uno suministran el 50% del petróleo, y 70.000 yacimientos completan la otra mitad de la oferta. Ello indica que los yacimientos nuevos son cada vez más pequeños y que se agotan más rápidamente. Los 20 yacimientos más grandes aportan el 27% de la oferta mundial y tienen una

Gráfico 2
Oferta mundial de crudo y condensado

BP: EIA: JODI: IEA C+C comparison



Fuente: Mearns (2011a).

vida media de 50 años. De ellos, 4 se encuentran en la fase de máximo bombeo y el resto, en diferentes fases de declive (Tverberg, 2009b).

Sin embargo, la comprensión de la situación actual resulta complicada. Gran parte de los analistas consideran que la oferta se mantiene estancada en una meseta oscilante (+/- 5% de variación sobre la oferta media de 74 Mb/d de crudo) desde 2005. El gráfico 2 refleja la evolución de la oferta de crudo y condensado durante el período 1980-2010, según cuatro fuentes. En él se aprecia que tres de ellas (BP, EIA [Departamento de Energía de EE.UU.] y AIE) muestran datos poco discrepantes y coinciden en que la oferta se encuentra en la meseta oscilante indicada. Pero el JODI (organismo de la ONU) muestra una oferta media que viene cayendo desde 2008. Sam Foucher (2011), Euan Mearns (2011) y otros analistas del blog *The Oil Drum* consideran que el JODI es la fuente más fiable porque obtiene los datos de los gobiernos productores de petróleo. La única explicación que encuentran a los datos de la EIA y la AIE es que han sufrido recortes presupuestarios, lo que les obliga a contratar sus informes, y que lo hacen al IHS CERA (un instituto estadounidense que se destaca por negar el techo del petróleo).

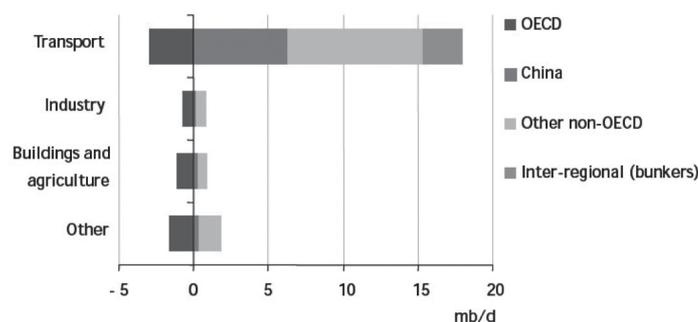
Pero el problema es mayor de lo indicado, ya que el consumo doméstico de los países exportadores crece fuertemente, lo que, con una oferta estancada, supone una reducción del petróleo exportado. Los 33 países que bombean más de 100.000 b/d han elevado el consumo del 16% a un 17,5% del total mundial en los cinco últimos años. El aumento anual de Arabia Saudí es del 10% y, según un portavoz de Aramco, si sigue a ese ritmo lo hará en un 250% (8,3 Mb/d) para 2028 (Andreoli, 2011).

1.3 Demanda

La demanda media mundial en los últimos 27 años creció un 2% al año, pero en 2008 se redujo en 0,3 Mb/d y en 2009 en 2,5 Mb/d. La AIE prevé en su informe *WEO2010* un aumento medio anual de la demanda de 1,2 Mb/d en los próximos años. Pero el petróleo sólo supondría el 50% del total de combustibles en 2050, siendo el resto hidrógeno, agrocombustibles, etc. Los países exportadores de petróleo y los países emergentes mantienen un ritmo muy fuerte de aumento del consumo —debido a un alto crecimiento económico y a unas gasolinas subvencionadas—, y en los del golfo Pérsico hay que añadir una industrialización basada en subsectores muy intensivos en energía y en una alta tasa de natalidad. En el período 2003-2008, China fue responsable de más del 50% del aumento de la demanda (AIE, 2010).

Por el contrario, en la OCDE se inició en 2005 una caída de la demanda que se agudizó en 2008 (-1,87 Mb/d), a causa de la crisis y de las políticas energéticas de la UE, Japón, etc. En 2009 la reducción del consumo se intensificó, y ello propició que los países importadores emergentes siguieran su escalada de consumo (Koppelaar, 2010).

Gráfico 3
Consumos de energía primaria por sector y región previstos por la AIE



Fuente: AIE (2010, *New Policy Scenario 2009-2035*).

Para 2035, la AIE prevé que el 93% del aumento de la demanda se produzca en países No-OCDE y que China absorba el 37% de dicho incremento (el de India será un 18%), alcanzando así el 22% de la demanda total frente al 17% actual. Por el contrario, la demanda de la OCDE disminuiría en 6 Mb/d (lo que supone un ritmo anual de descenso del 0,6%), siendo en el transporte donde se produciría la mayor reducción, tal como se muestra en el gráfico 3. Pero esta previsión no es real, al no tener en cuenta el agotamiento del petróleo (AIE, 2010).

1.4 Precios

A partir de 2002 se produjo una escalada de precios que se agudizó en el período 2005-2008, en un contexto de alta volatilidad, la cual se debe a que existen numerosos factores que hacen oscilar los precios: las previsiones sobre el crecimiento económico; las variaciones de los stocks; las variaciones estacionales del consumo; las reducciones de la capacidad de extracción por motivos políticos (guerras, sabotajes, huelgas, etc.) o por efecto de fenómenos climáticos (como huracanes en zonas petroleras), etc. Sin embargo, sólo el creciente desfase entre la oferta y la demanda explica la excepcional dinámica

mica alcista de los precios en el período indicado, que culminó en julio de 2008 con un precio de 147\$ por barril (159 litros) en la bolsa de Nueva York. Después, la crisis redujo la demanda y el barril bajó hasta 32,70\$ el 20 de enero de 2009, pero enseguida empezó a recuperarse con la aparición de los primeros signos de superación de la crisis, y en la mayor parte de los diez primeros meses de 2011 el barril se mantuvo por encima de los 110\$ (Mearns, 2009; Likvern, 2010).

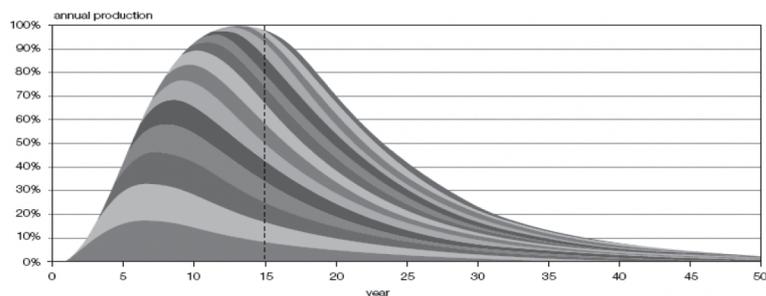
De cara al futuro existe un amplio consenso acerca de que el petróleo se encarecerá mucho, porque el estancamiento de la oferta dará paso a su declive y porque la mayor parte del petróleo nuevo (el extraído en aguas profundas, en el Ártico, etc.) será cada vez más costoso. Fatih Birol, economista jefe de la AIE, multiplica los avisos sobre una escalada de precios y recomienda que «debemos dejarlo, antes de que él nos deje a nosotros» (*The Independent*, 3.8.2009).

1.5 *El techo*

El agotamiento de cualquier recurso depende de dos factores: de las reservas existentes y del ritmo de consumo. Pero hay múltiples factores que obstaculizan la extracción de petróleo: está alojado en las grietas de las rocas, impregnando arenas y rocas porosas; los yacimientos pierden la presión inicial, por lo que hay que forzarlo a salir inyectando agua salada o gases; una vez extraído su componente más ligero, va quedando un remanente cada vez más pesado, etc. Estas dificultades determinan a) que el flujo de extracción alcance un techo y que a partir del mismo disminuya inexorablemente, y b) que la mayor parte del petróleo que había no pueda ser extraído. El techo ha sido confirmado por los estudios de Marion King Hubbert (referente de la geología del petróleo) y por décadas de análisis de los países petroleros. Dichos estudios muestran que las curvas de descubrimientos de yacimientos y de extracciones adoptan una forma de campana y que, unas pocas décadas después de que la primera curva alcance el techo, lo hace la segunda y después empieza a bajar. El techo se produce un poco antes de haber extraído la mitad de las reservas, como indica el gráfico 4 (Hemmingsen, 2010).

El estudio *Wiki Oil Megaprojects* (WOM) constituye un referente en el análisis del techo del petróleo, una colaboración entre *The Oil Drum* y *Wikipedia* para conocer los grandes proyectos petrolíferos y contrastar el aumento de la oferta que éstos supondrán con la tasa de agotamiento. Sus premisas son: una tasa de agotamiento del 3,6%, que los propios autores consideran conservadora (la AIE establece una del 4,4%) porque «existe una gran incertidumbre sobre este índice, ya que representa la media de decenas de miles de yacimientos pequeños y de varios centenares de yacimientos gigantes, unos en

Gráfico 4
Curva teórica de explotación acumulada de varios yacimientos



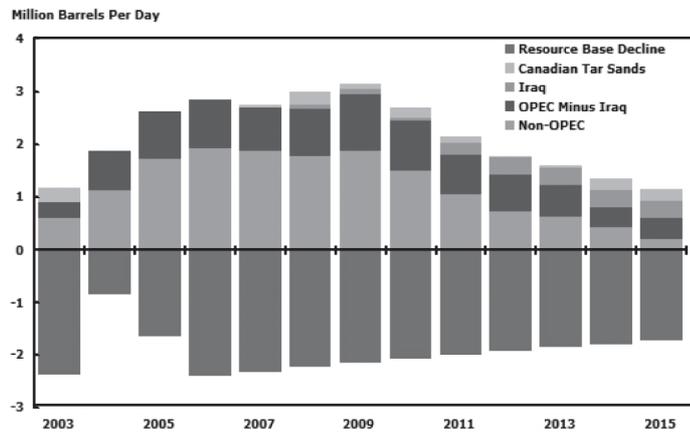
Fuente: ITPOES (2010a: 11).

fase postecho y otros en fase pretecho» (Foucher y Bodell, 2011); se contabilizan el crudo, el condensado y el *sinfuel* de las arenas bituminosas de Canadá; el horizonte del estudio es corto (2015). Los autores opinan que los estudios a más largo plazo no son fiables.

El gráfico 5 muestra las aportaciones de petróleo de los megaproyectos procedentes de la OPEP (sin Irak), de Irak y de las arenas bituminosas de Canadá. Sin embargo, no aparece de forma explícita el petróleo extraído de aguas profundas, que es el factor principal del aumento de las extracciones, sobre todo, del grupo No-OPEP. El resultado es que, a partir de 2011, la oferta neta de petróleo decrece (Foucher y Bodell, 2011).

Aun así, la previsión se ve afectada por un amplio conjunto de otras variables en direcciones opuestas. En el lado positivo, hay que tener en cuenta el petróleo de los proyectos pequeños y las aportaciones del gas natural líquido, que aumentan debido a las cuantiosas inversiones realizadas en la década pasada, pero hay factores políticos, ambientales, climáticos, etc. que reducen el flujo de petróleo. Entre los factores políticos están: la inestabilidad de muchos países productores, las decisiones de reducir el flujo de exportación para alargar la vida del recurso, etc. En este sentido, destaca la previsión de un portavoz del gobierno saudí de que «la producción se mantenga en 8,7 Mb/d hasta 2015» (Andreoli, 2011). Por otra parte, el vertido del yacimiento Macondo en el golfo de México ha llevado a EE.UU. a endurecer las normas ambientales, y este suceso «aumentará los costes y los retrasos de las perforaciones y desarrollos en aguas profundas» (ITPOES, 2010b). Steffen Bukold (2010), experto en la materia, pide que se prohíban las explotaciones ultraprofundas (> 1.500 m) porque los vertidos no podrán ser controlados.

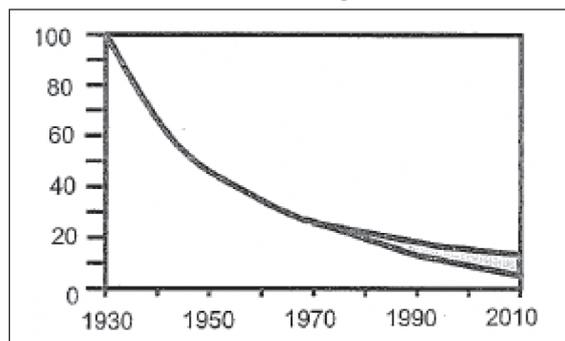
Gráfico 5
Oferta de petróleo de megaproyectos en el período 2003-2015 (real y prevista)



Fuente: Foucher (2011).

Por último, la tasa de retorno energético (la relación entre la energía obtenida y la invertida) ha pasado de 100:1 en 1950 a alrededor de 15:1 y sigue cayendo, como muestra el gráfico 6. Esta estimación es similar a la de Murphy y Hall (2011: 64 y 65), que calculan que la tasa ha bajado de 36:1 en la década de los noventa a 18:1 en 2008. Este último ratio supone que, para obtener 100 unidades de energía neta, hay que extraer un total de 106 unidades. Peor aún, las arenas bituminosas de Canadá tienen un ratio de 5-6:1, así que aumenta la energía necesaria para obtener una unidad de recurso (Hirsch *et al.*, 2010: 141).

Gráfico 6
El balance energético



Fuente: Hirsch et al. (2010).

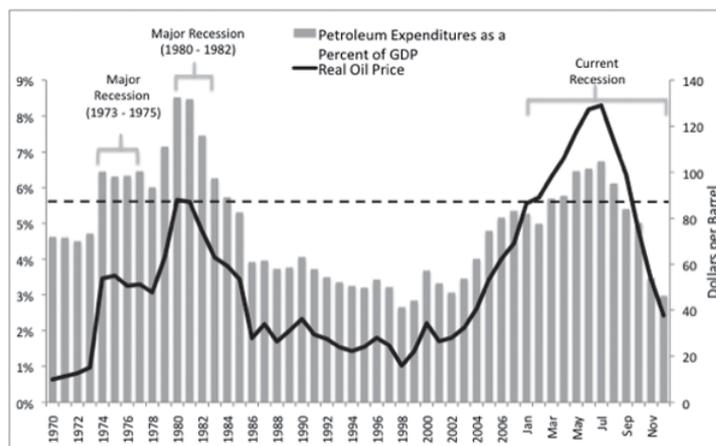
2. Análisis de la crisis actual

Antes de realizar un análisis prospectivo, conviene estudiar las causas que han provocado la crisis de las últimas décadas y, en especial, las de la crisis actual y su evolución, porque de ellas se deben extraer lecciones que facilitarán dicho análisis.

2.1 El impacto económico de los altos precios del petróleo

Numerosos estudios muestran que unos precios altos del petróleo preceden normalmente a las crisis económicas, por lo que se puede inferir que existe una clara correlación entre precios y recesión. James Hamilton muestra que diez de las once recesiones que se produjeron en EE.UU. después de la Segunda Guerra Mundial fueron precedidas de escaladas del precio del petróleo. Charles A. S. Hall ha realizado varios estudios junto con D. J. Murphy, R. Powers y S. Bologh, y han llegado a la misma conclusión. Murphy y Hall (2011) estiman que cuando el gasto en energía alcanza el 5,5% del PIB se producen recesiones, puesto que este sobregasto se traduce en la reducción de otros consumos y de la inversión (esto es lo que refleja el gráfico 7). Sin embargo, en la recesión de 1973-1975 no se alcanzó dicho ratio del 5,5%, lo que indica que también intervienen otras variables. En este caso, los precios se cuadruplicaron entre octubre y diciembre de 1973; y se habían debilitado los motores que impulsaron la expansión del período 1950-1973 (Tverberg, 2011).

Gráfico 7
Porcentaje del gasto en energía en relación con el PIB mundial



Fuente: Murphy y Hall (2011: 58).

Otra forma de definir el umbral del impacto económico es estimar el precio que empieza a frenar el crecimiento económico. Los principales analistas consideran que los países de la OCDE se ven afectados cuando el precio del barril supera los 90\$ durante períodos prolongados, lo que indicaría que no pueden salir de la crisis mientras los precios se mantienen por encima de 100\$ por barril (Kopits, 2011), mientras que algunos autores cuantifican la reducción del PIB que se está produciendo. G. Davies calcula que, de seguir el precio del barril muy por encima de los 90\$, el PIB de los países de la OCDE perderá alrededor de un 1% en 2011, y J. Hamilton prevé que el PIB de EE.UU. se habría reducido en un 1,1% en el primer semestre de 2011 (Mearns, 2011a). Ello explicaría que no se hayan cumplido los pronósticos de consolidación de la recuperación económica en 2011, una vez producida la salida de la recesión en 2010. A diferencia de lo que ocurre en la OCDE, los analistas consideran probable que China e India puedan soportar precios de 100-110\$ por barril. La razón que justificaría tal disparidad de umbrales es que el incremento de la productividad marginal de un barril de petróleo es mayor en China e India por la ley de los rendimientos decrecientes, dado que sus consumos per cápita son muy inferiores a los de la OCDE (Skrewosky, 2011).

2.2 *Análisis sistémico: factores no geológicos que actúan en la crisis actual*

Puesto que las sociedades son sistemas complejos adaptativos, el encarecimiento del petróleo siempre viene acompañado de otros factores, por lo que el cambio en uno influye en muchos otros. Por ello, es necesario determinar cuáles son importantes en este momento. No obstante, antes de definirlos conviene analizar el origen de la crisis actual, porque permite conocer los factores importantes que coactúan con el petróleo.

Los centros de poder la catalogan como una crisis financiera. Sin negar que este factor es muy importante, la escalada de los precios del petróleo y la de gran cantidad de otras materias primas (los incrementos de precios de algunas de ellas fueron mayores que los del primero) fueron un reflejo de lo que Jeremy Grantham (jefe de inversiones de GMO Capital; Grantham, 2011) denomina «un cambio de paradigma» en los precios de las materias primas. La escalada de precios alcanzó cotas muy superiores a los umbrales señalados anteriormente, y provocó inflaciones elevadas y una fuerte reducción de la capacidad de gasto y de inversión en los países de la OCDE debida a los pagos de petróleo. A finales de 2007 la inflación empezó a repuntar, llegando en países de la OCDE a cotas del 5-6% en 2008. Los bancos centrales reaccionaron con la receta habitual: elevando el tipo de interés. Esto provocó el encarecimiento del crédito, al cual se le unió un descenso de las rentas por la elevación de la factura del petróleo y otras materias primas. Ambos factores

provocaron el colapso de la burbuja inmobiliaria que se venía produciendo en la OCDE, y que había iniciado ya su declive. Ese colapso provocó a su vez el del sistema financiero, aquejado de múltiples problemas, algunos de ellos originados por la enorme especulación financiera que provocó la liberalización del sector y otros estructurales. Así pues, la causa de la crisis no fue sólo de tipo financiero, «sino que fue un síntoma de una crisis más grande, una crisis energética» (Rubin, 2009). Muchos autores respaldan este análisis: Tverberg (2009a), Hamilton (2009), Murphy y Hall (2011), Kilian (2010), Kopits (2011), etc. Pero, como los centros de poder no asocian la crisis con el petróleo, resulta que buscan su salida fuera del ámbito energético.

En la fase actual de la crisis se manifiestan un conjunto de factores (positivos y negativos) que interactúan con el encarecimiento del petróleo. Algunos de los positivos son:

- La crisis actual se centra en gran parte de los países de la OCDE y especialmente en la zona euro. No es el caso de los países extractivistas de Sudamérica, África y Oceanía, ni de Europa oriental y Asia, que tienen crecimientos fuertes.
- China está siendo un factor clave en que la crisis no se extienda a escala mundial. Por un lado, porque sus inversiones en EE.UU. dan estabilidad a la economía de este país (el mismo papel está desempeñando, aunque con un impacto menor, en algunos países europeos víctimas de la especulación financiera). Su fuerte demanda de productos manufacturados refuerza dicho papel. Además, la enorme demanda china de materias primas impulsa el crecimiento de los países exportadores de las mismas.
- La reducción del consumo de materias primas en los países principales de la OCDE modera la elevación de los precios y el ritmo de agotamiento.

Entre los factores negativos asociados al uso de recursos naturales se encuentran:

- Las escaladas de precios del petróleo se producen al mismo tiempo que los procesos de encarecimiento de otras muchas materias primas escasas —como los principales metales estratégicos— y de los alimentos. Éstos suben de precio como resultado del crudo caro, por un aumento de las cosechas de cereales inferior al de la población y por la producción de agrocombustibles (Brown, 2010).
- La escasez de petróleo está generando tensiones geoestratégicas entre las potencias por conseguir acuerdos a largo plazo para la obtención de estos combustibles. China e India están cambiando las reglas de juego habitua-

les para garantizarse el suministro. Logran acuerdos bilaterales con los países exportadores que fijan un determinado flujo de materias primas a cambio de múltiples compensaciones: actuar como «socios comerciales, inversores, suministradores de tecnología y armas, prestamistas [...] o defensores políticos ante organizaciones internacionales», lo que se define como «diplomacia energética» (BTC, 2010: 27). Otro caso de tensiones geoestratégicas es el de zonas fronterizas que tienen recursos fósiles, pero cuya delimitación es objeto de disputas territoriales históricas. Los descubrimientos de yacimientos y la probabilidad de que existan avivan disputas que han permanecido aletargadas (Ártico, mar Caspio, mar de China, etc.) (BTC, 2010: 40). Estas disputas generan inestabilidad (que perjudica al crecimiento) y costes para los países litigantes.

- La escasez creciente de recursos está provocando la multiplicación de los impactos ambientales. Los yacimientos son cada vez más pequeños y de vida más corta (y en el caso de los minerales no energéticos la ley es ya muy baja, lo que obliga a remover cada vez más tierra y roca para obtener una misma cantidad de mineral). También obliga a buscar recursos en lugares más remotos (bosques tropicales) y en ecosistemas particularmente frágiles (en el Ártico o en fondos marinos profundos). Los impactos provocan una contestación ciudadana creciente que se multiplica cuando se produce un accidente grave, lo cual lleva a los gobiernos a endurecer las normativas de seguridad (EE.UU.) o a replantearse políticas (proyecto de carretera amazónica de Bolivia), actuaciones que encaren los recursos y que pueden reducir las áreas explotadas.
- Cuando la economía crece muy poco o está en recesión, el sistema financiero entra en crisis. Los bancos se debilitan (pierden credibilidad y pueden quebrar) por la alta morosidad y los gobiernos se ven obligados a realizar recapitalizaciones muy importantes. Estos fondos debilitan a su vez la capacidad de los estados para invertir en políticas de reactivación económica, factor que se ve agravado por una drástica reducción del crédito porque los bancos temen que no se devuelvan los préstamos. Además, el sistema financiero exacerba su tendencia natural a la especulación y provoca una espiral de endeudamiento en los estados objeto de esos ataques (Tverberg, 2011).
- La UE, además, tiene el problema estructural de su moneda, porque carece de instituciones y de capacidad de respuesta semejantes a las de cualquier Estado. La deuda griega ha puesto de manifiesto el problema. La UE es muy lenta en la adopción de medidas correctoras, lo que incentiva la especulación sobre los países más débiles, y para atajarla impone una drástica política de reducción de la deuda que provoca estancamiento, cuando no recesión, lo cual amenaza la estabilidad del sistema.

Sin embargo, cualquier recuperación tendría un recorrido corto, ya que el consumo de recursos volvería a aumentar. Es por ello que crece el número de autores que asocian el techo del petróleo al fin del crecimiento. El último libro de Richard Heinberg (*The End of Growth*, 2011) es una muestra de ello. Así pues, se necesitan transformaciones profundas del sistema económico en la dirección de una desmaterialización del sistema productivo y la creación de un sistema financiero resiliente. En una economía sostenible (que sólo puede ser solar y circular en materiales), el producto económico sólo podrá crecer cuando un uso más eficiente del fondo de materiales que tenga cada economía pueda producir la captación de más energía solar y/o la producción de más bienes. Otra opción es reducir el tiempo de trabajo (Bermejo, 2011).

3. Tendencias de transformación previsible

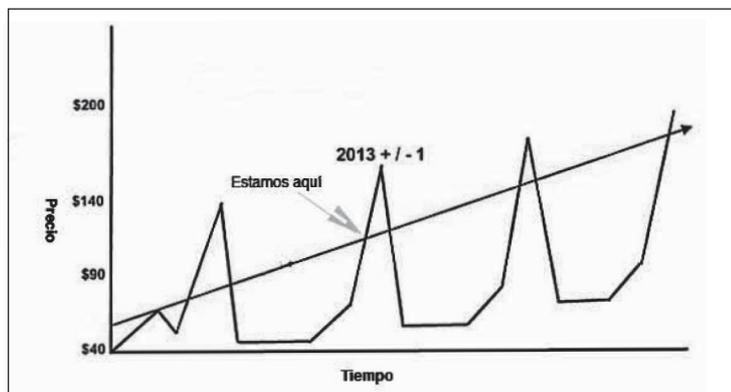
3.1 Modelos de evaluación del impacto del techo del petróleo

Se vienen utilizando tres métodos de análisis de los efectos económicos del techo del petróleo: el *declive lineal*, el *declive oscilante* y el *colapso sistémico*. En el primer método se asumen unos ratios de declive de la extracción de petróleo, se considera que los impactos son proporcionales a los precios —los cuales están determinados por los ritmos de agotamiento— y se evalúan los impactos sobre el PIB, la balanza de pagos, etc. También se supone que, a pesar de los impactos económicos, el sistema financiero permanece estable, los estados mantienen los servicios habituales, no hay inestabilidad social, etc., de modo que no existe interacción entre los factores (Korowicz, 2010: 30-31).

El método del declive oscilante supone que se producirán escaladas sucesivas del precio del petróleo que provocarán crisis y hundimientos de dicho precio, lo cual permitirá relanzar la economía y, a su vez, provocará una nueva escalada que alcanzará una cota de precios más alta. Ello provocará otro nuevo ciclo, que se volverá a repetir hasta que se transforme el modelo energético. En cada ciclo se producirá un descenso económico (Cohen, 2009; Korowicz, 2010: 31). El gráfico 8 ilustra dicha teoría.

Pero esta teoría no refleja la realidad actual. En vez de recuperaciones que relanzarían el consumo y el precio del petróleo a nuevas cotas, asistimos a un estancamiento económico en los países principales de la OCDE. Esta situación dual es fruto de que los países No-OCDE tienen un umbral de impacto a los precios del petróleo más alto. El impacto en la OCDE, agravado por la crisis del sistema financiero, determina que su consumo de petróleo siga bajando, y lo hace a un ritmo semejante al del aumento del consumo en los países No-OCDE. En el momento actual la demanda de la OCDE está cayen-

Gráfico 8
Escaladas de precios y crisis recurrentes en la era postpetro



Fuente: Cohen (2009).

do a un ritmo anual del 3-4%, mientras que los países No-OCDE la están aumentando un 4% al año (AIE, 2011).

El techo del petróleo romperá la situación de equilibrio actual al empezar a reducirse el flujo de petróleo. Este hecho agudizará el declive de las exportaciones de crudo, que se ha venido produciendo en el período de estancamiento de la oferta. El precio del barril sobrepasará, también, los umbrales de precios de los países No-OCDE, lo que dará paso a una prolongada crisis mundial, porque la energía disponible se reducirá, en especial la del transporte. La magnitud del colapso dependerá en buena medida del ritmo de disminución del suministro de petróleo. R. Hirsch *et al.* (2010) establecen dos escenarios, con reducciones del 2% y del 4% al año, y consideran que el segundo sería catastrófico. El PIB mundial se reduciría en un 20-30% a lo largo de más de una década, lo cual generaría una crisis social que puede desestabilizar a las instituciones políticas. Pese a todo, los mecanismos de amortiguación que generan unos precios altos hacen que el segundo escenario sea más probable.

Muchos informes prevén dicho colapso. Según el ITPOES, «el declive o colapso del suministro de petróleo golpeará a todos los sectores de la economía, provocando cambios rápidos en el transporte» (ITPOES, 2010a: 26), mientras que un informe del ejército alemán (BTC, 2010: 58) prevé que, «a medio plazo, el sistema económico mundial [...] podría colapsar» y que el impacto del techo durará unos 15-20 años. Este intervalo lo prevé también el famoso informe Hirsch (Hirsch *et al.*, 2005). Suponen que dicho período es el necesario

para cambiar de combustible. Este escenario de colapso parece inevitable, porque los gobiernos no están dando pasos significativos para desengancharse del petróleo con la salvedad de Alemania, que es líder mundial en renovables y en la aplicación del hidrógeno al transporte, y que se ha marcado el objetivo de alcanzar un sistema energético renovable (Bermejo, 2011: 298).

Así pues, estamos ante un escenario muy probable de colapso sistémico (Korowicz, 2010: 31). Sin embargo, antes de describirlo conviene explicar qué significa que la sociedad industrial es un sistema complejo adaptativo. La economía necesita mercados, financiación, estabilidad monetaria, infraestructuras (de transporte, telecomunicaciones, tratamiento de las aguas, redes eléctricas, etc.), producción industrial y de alimentos, servicios de salud y educación, I+D, instituciones respetadas y estabilidad sociopolítica, pero también un flujo creciente de energía y materiales. Su complejidad crece, lo que supone que cada vez es más ineficiente. El sistema se adapta a los cambios espontáneamente, porque no hay instituciones de gobierno (IG) capaces de controlar su funcionamiento. Pero las IG pueden actuar de forma coordinada para prevenir los colapsos o, al menos, para superarlos (Korowicz, 2011: 2-7).

Análisis a continuación la evolución previsible de los factores principales (descritos en el apartado anterior) como consecuencia del techo. Entre los factores positivos, hay que destacar los siguientes:

- El petróleo caro seguirá provocando la aceleración de los cambios tecnológicos para explotar yacimientos que no eran rentables con las tecnologías y los precios anteriores. Este factor y la disminución del consumo fruto de la crisis ralentizarán el ritmo de descenso del flujo de petróleo.
- Durante esta década, las principales energías renovables entrarán en paridad de costes, lo cual acelerará el aumento de la potencia eléctrica instalada y de la producción de hidrógeno renovable (hay aplicaciones que están en fase comercial) (Bermejo, 2011).
- Es previsible que la UE sea capaz de desarrollar mecanismos que palien en gran medida la debilidad estructural del euro.
- Se está fortaleciendo rápidamente el movimiento de las sociedades en emergencia energética. Estas sociedades (municipios y regiones) están desarrollando economías resilientes al techo del petróleo, por lo que se convertirán en referente obligado en el proceso transformador (Bermejo, 2011: 301-322).

No obstante, hay factores negativos, y muy importantes, que retrasaran los cambios:

- El techo del petróleo reforzará el estatus internacional de los países exportadores de petróleo y la tendencia a la nacionalización del petróleo (las petroleras estatales controlan ya más del 80% del mismo), así como también la restricción de las exportaciones para alargar la vida de sus reservas (BTC, 2010: 26).
- Se agudizará la competencia entre estados por el acceso a yacimientos en territorios en disputa y se agravarán las tensiones geoestratégicas entre las potencias por los contratos de suministro a largo plazo. Esto es lo que pronostican muchos analistas e informes oficiales, algunos de los cuales ya han sido citados (BTC, 2010: 73).
- El papel estabilizador de la economía mundial que viene desempeñando China no lo podrá seguir ejerciendo, porque se verá cada vez más afectada al superar el precio del petróleo su umbral. Ello provocará una crisis mundial, que tendrá el componente positivo de reducir el consumo de petróleo.
- El fuerte aumento del consumo doméstico de petróleo en muchos países exportadores de petróleo agravará su inestabilidad, al menos a causa de dos factores: por la reducción de las exportaciones (muy pocos países tienen ya capacidad para aumentar la extracción de petróleo y, salvo en el caso de Irak, ninguno la mantendrá a medio plazo) y por su necesidad de crear empleo y mejorar los servicios con objeto de frenar la contestación creciente a los regímenes dictatoriales. La «primavera árabe» ha puesto de manifiesto este fenómeno (Andreoli, 2011).
- No es probable, ni siquiera a medio plazo, que las potencias se pongan de acuerdo en una reforma sustancial del sistema financiero. Sin duda se adoptarán medidas menores, como debilitar el papel de los paraísos fiscales, controlar algo la especulación financiera, etc., pero éstas no evitarán que el sistema financiero siga jugando un importante papel depresivo de la actividad económica en tiempos de crisis.
- No es probable que los crecientes impactos ambientales que genera la extracción de recursos de la corteza terrestre frenen —de forma significativa— las explotaciones. Sin embargo, éstas provocarán una aguda reducción de la calidad de vida en algunas zonas del mundo y, a medio-largo plazo, van a deteriorar de forma decisiva los servicios esenciales para la vida que nos provee la biosfera.

En resumen, el colapso supondrá la quiebra del sistema financiero y monetario, del sistema productivo globalizado (industrial y de alimentos) y de infraestructuras críticas (transporte, red eléctrica, telecomunicaciones, sanidad, sistema bancario, etc., porque su mantenimiento es muy caro) (Korowicz, 2011: 13). Aun así, no hay que olvidar que los países poseen grados muy diferentes de vulnerabilidad, la cual depende de múltiples factores: dependencia relativa del petróleo; eficiencia energética; recursos de petróleo y/o gas; grado de desarrollo de las energías solares; capacidad de cambio tecnológico; baja apertura de la economía; alta diversidad del tejido económico; instituciones sólidas y elevada cohesión social.

3.2 Transformaciones previsibles

Se producirá una clara reducción del papel del mercado y, paralelamente, se reforzará el papel de los estados. Se afianzará la tendencia a suscribir acuerdos a largo plazo y bilaterales entre los estados por ser la única garantía de suministro estable (esta política es ya dominante en el caso del gas natural, por las costosas infraestructuras de transporte) (BTC, 2010: 34).

La mayor parte del comercio internacional será de ámbito regional, por los altos costes del transporte de largo recorrido. Una consecuencia de ello es que las cadenas de producto serán menos complejas y más cortas. Por ello, Jeff Rubin y Benjamin Tal (2008), economistas del banco canadiense CIBC, afirman, en función de los factores analizados, que «la globalización es reversible». Ello dará lugar a economías más descentralizadas.

Los estados se verán obligados a aplicar medidas de choque que den paso a estrategias transformadoras. Algunas medidas para reducir rápidamente el consumo de petróleo son: racionar las gasolinas, limitar la velocidad de los vehículos en la carretera y el acceso de los coches a las ciudades, aumentar la frecuencia de los medios de transporte públicos, etc. Las estrategias de transporte deberán provocar un trasvase masivo de pasajeros del coche (en áreas metropolitanas) y del camión al ferrocarril. Los elevados costes del transporte por carretera impulsarán ese trasvase, pero los estados deberán invertir en el ferrocarril para que alcance la capacidad necesaria. Más lenta será la sustitución del petróleo por el hidrógeno renovable. Aunque en una primera fase se acelere el uso del gas natural, no existe gas suficiente para el transporte y la generación eléctrica (Bermejo, 2011: 257-259).

El rápido proceso actual de crecimiento de la potencia instalada de electricidad eólica y solar se verá acelerado por la entrada en paridad de costes de las mismas, que se producirá en todo el mundo a lo largo de esta década y por la necesidad de sustituir el petróleo por hidrógeno renovable (lo cual impulsará,

a su vez, la descentralización productiva), pero aun así se tardarán unas dos décadas en cubrir el déficit energético (Bermejo, 2011: 290).

En el sector industrial, los elevados costes del transporte reforzarán la producción descentralizada, sobre todo en: la producción de bienes con un bajo ratio valor/peso; la producción de captadores de energía renovable; la construcción ferroviaria, naval y de autobuses, etc. Por el contrario, se producirá un declive de las empresas productoras de vehículos de carretera y de aviones. Además, se reforzarán la utilización de materiales locales, el reciclado de los materiales estratégicos y la reparación y remanufacturación, especialmente de grandes vehículos (trenes, barcos y aviones). La producción y distribución de alimentos serán mucho más descentralizadas y sostenibles. Esta tendencia revertirá el proceso de concentración del capital (Rubin, 2009).

A pesar de que no es probable que se produzcan grandes reformas del sistema financiero internacional, muchos estados aplicarán medidas que supondrán una cierta nacionalización del crédito y el fortalecimiento de las organizaciones de crédito comunitarias (OCC), porque resultará imperioso mantener un nivel importante de crédito. Algunas de las medidas, ordenadas de menor a mayor posibilidad, son: la creación de un sistema de crédito público a interés cero; la creación de bancos públicos; una mayor transparencia del sistema bancario; el desarrollo de OCC; la separación de la banca de inversión de la comercial. Ésta se acercará al objetivo de provisión a la sociedad de «servicios altamente cualificados y especializados, y que ganen rentas semejantes a las de sus clientes», etc. (Paris, 2009). Es muy probable que se cree un nuevo sistema monetario internacional basado en una moneda virtual cuyo valor sea el de una cesta de monedas principales, que refleje la nueva realidad multipolar.

A modo de resumen, el sistema económico resultante será menos eficiente (por la reducción de las economías de escala), pero estará más centrado en la satisfacción de las necesidades básicas y será más resiliente y sostenible (Korowicz, 2011: 13). Rubin (2009) afirma que no se sorprendería «si el nuevo mundo más pequeño que emerge fuera mucho más fiable y agradable que el que estamos cerca de dejar atrás».

Bibliografía

- AIE (AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA) (2008): *World Energy Outlook 2008*, París, IEA.
— (2010): *World Energy Outlook 2010*, IEA, París.
— (2010): *New Policy Scenario 2009-2035*, IEA, París.
— (2011): *Oil Market Report, September*, IEA, París.

- ANDREOLI, D. (2011): «The Fundamental Problem with Oil Prices», <http://peakoil.com/bussiness/derik-andreoli-the-fundamental-problem-with-oil-prices>.
- BERMEJO, R. (2011): *Manual para una economía ecológica*, Catarata, Madrid.
- BROWN, L. R. (2010): *Plan B Updates*, Earth Policy Institute, Washington D.C.
- BTC (BUNDESWEHR TRANSFORMATION CENTER) (2010): *Implications of Resource Scarcity On (National) Security*, BTC.
- BUKOLD, S. (2010): «Offshore Oil Drilling: Public Costs and Risks are Too High», *Global Oil Briefing*, n.º 50.
- COHEN, D. (2009): «2009—A year We Will Live to Regret», www.energybulletin.net/node/51013.
- FOUCHER, S. (2011): «The JODI-EIA Divergence», www.theoil Drum.com/node/7949.
- FOUCHER, S. y J. M. BODELL (2011): «Crude Oil and Liquids Capacity Additions: 2011-2015», www.theoil Drum.com/node/7785.
- GRANTHAM, J. (2011): «Time to Wake Up: Days of Abundant Resources and Falling Prices Are Over Forever», www.theoil Drum.com/node/7853.
- HAMILTON, J. (2009): «Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-08», *Brooking Papers on Economic Activity*.
- (2011): «Historical Oil Shocks», en *Handbook of Mayor Events in Economic History*, Universidad de California, San Diego.
- HEMMINGSEN, E. (2010): «At the base of Hubbert's Peak: Grounding the debate on petroleum scarcity», *Geoforum*, vol. 41, n.º 4, pp. 531-540.
- HEINBERG, R. (2011): *The End of Growth*, New Society Publishers, Gabriola Island (Canadá).
- HIRSCH, R. L. *et al.* (2005): «Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation, & Risk Management», Department of Energy, Washington D.C.
- (2010): *The Impending World Energy Mess*, Apogee Prime, Washington D.C.
- ITPOES (INDUSTRY TASKFORCE ON PEAK OIL & ENERGY SECURITY) (2010a): *Oil Crunch (Second Report)*, ITPOES.
- (2010b): *Peak Oil. Implications of the Gulf of Mexico Oil Spill*, ITPOES.
- KILIAN, L. (2010): «Comment on “Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-08” by James D. Hamilton», *Brooking Panel on Economic Activity*.
- KOPITS, S. (2011): «Oil, Economy and the Policy», Presentation to the US House of Representatives, Energy Subcommittee.
- KOPPELAAR, R. (2010): «Oilwatch Monthly—June 2010», ASPO Netherlands.
- KOROWICZ, D. (2010): «Tipping Point. Near-Term Systemic Implications of the Peak in Global Oil Production. An Outline Review», Faesta, Dublin.
- (2011): «On the cusp of collapse: Complexity, energy & the globalised economy», www.energybulletin.net/print/59209.
- LIKVERN, R. (2010): «Global oil supplies as reported by EIA's International Petroleum Monthly for September 2010», www.energybulletin.net/print/54211.
- MEARNS, E. (2009): «Oil price: Where next? – And Thoughts for 2010», www.energybulletin.net/print/51028.
- (2011a): «Peak Oil – the clear and present danger», www.theoil Drum.com/code/8044.
- (2011b): «Supply and Demand on a Full Planet—ASPO VI», www.theoil Drum.com/node/4450.
- MURPHY, D. (2009): «Further Evidence of the Influence of Energy on the U.S. Economy», <http://netenergy.theoil Drum.com/node/5304>.

- (2011): «Peak Oil and Energy Return Investment: The End of Growth?», ASPO Brussels.
- MURPHY, D. y C. A. S. HALL (2011): «Energy return on investment, peak oil, and the end of economic growth», *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1.219, pp. 52-72.
- PARIS, J. A. (2009): «I am a banker. Some of us did not f*ck up», www.energybulletin.net/print/48463.
- PENTÁGONO (2010): *The Joint Operating Environment 2010*, United States Joint Forces Command.
- RUBIN, J. (2009): *Why your World is About to Get a Whole Lot Smaller*, Random House, Nueva York. (Ed. cast.: *Por qué el mundo está a punto de hacerse mucho más pequeño*, Urano Tendencias, Barcelona, 2009.)
- RUBIN, J. y B. TAL (2008): «Will Soaring Transport Costs Reverse Globalization?», *StrategEcon*, May, CIBC World Markets Inc.
- SCHINDLER, J. *et al.* (2007): «Coal: Resources and Future Production», Energy Watch Group, Paper n.º 1/07.
- SKREWOSKY, C. (2011): «ODAC Newsletter – Sept 16», Oil Depletion Analysis Centre, www.odac-info/newsletter/2011/09/16.
- TVERBERG, G. (2009a): «Where we are headed: Peak oil and financial crisis», www.theoildrum.com/node/5320.
- (2009b): «Science 1101–Petroleum and peak oil», www.theoildrum.com/node/5969.
- (2010): «World Oil Production–Looking for Clues as to What may be Ahead», www.theoildrum.com/node/7258.
- (2011): «The Link Between Peak Oil and Peak Debt–Part I», www.theoildrum.com/node/8126.

No existe alternativa a las energías renovables. El imperativo natural largamente reprimido*

HERMANN SCHEER

¿Cómo pudo llegarse a la agudización dramática de una situación decisoria por la que ahora el cambio hacia las energías renovables se encuentra bajo una presión de tiempo existencial? ¿Por qué se negaron o menospreciaron durante tanto tiempo las energías renovables? Estas preguntas deben plantearse a pesar de la frase de Albert Einstein: «Más que el pasado me interesa el futuro, ya que es allí donde pienso vivir.» Pero para llegar a la vía correcta en el futuro, debemos observar lo dicho por el filósofo Søren Kierkegaard: «La vida debe vivirse mirando hacia delante, aunque solo podamos entenderla volviendo la vista atrás.» La retrospectiva ayuda a reconocer con la suficiente claridad las resistencias intelectuales y estructurales que entorpecen el desarrollo futuro. Todo pasado deja sus rastros intelectuales, reales y psicológicos, seamos conscientes o no de ello. Lo remarcable no es el crecimiento exponencial de la conciencia sobre el valor fundamental de las energías renovables, sino más bien el tiempo que ha sido necesario para este proceso de concienciación, y que no existan más tecnologías probadas e iniciativas concretas para su fomento desde hace ya mucho tiempo.

Por ley natural siempre estuvo determinado que la utilización de las energías fósiles solo podía ser un estado transitorio. Wilhelm Ostwald, que en 1909 obtuvo el premio Nobel de química, ya advirtió con absoluta claridad y transparencia meridiana en su libro *El imperativo energético*, publicado en 1912, de que la «inesperada herencia de los materiales combustibles fósiles» seduce

*Fuente: *El imperativo energético*, editorial Icaria, 2011.

hasta el punto de «perder momentáneamente de vista los principios de una economía sostenible y [querer] vivir al día». Y prosiguió exponiendo que como estos materiales combustibles se agotarán sin falta, esto lleva inevitablemente a la conclusión de que «una economía sostenible solo puede basarse en el aporte energético regular de la radiación solar.» De este modo llegó a su imperativo: «No derroches energía, aprovéchala.» Con el derroche se refería a la quema de las energías fósiles, que es un proceso destructor, ya que los recursos utilizados para ello se pierden irremisiblemente para el insumo energético. En contraposición pone el aprovechamiento de la energía siempre presente, que hoy día llamamos energía renovable y que en Dinamarca, más acertadamente, se llama «energía persistente». Ostwald concede mayor importancia social al «imperativo energético» que al «imperativo categórico» del filósofo Emanuel Kant: «Obra de tal modo que la máxima de tu voluntad siempre pueda valer al mismo tiempo como principio de una ley universal.»¹

Expresado de forma más simple en un proverbio antiguo: «No *hagas* a otro lo que no *quieras* que te hagan a *ti*.» Toda persona desea vivir rodeada de aire puro, por lo que nadie debería contaminar el aire de otros. Cada ser humano necesita recursos energéticos, por lo que todo el mundo debería poder utilizarlos en la misma medida y nadie debería monopolizarlos. Lo cierto es que incluso hasta ahora las energías fósiles y nuclear no eran suficientes para cubrir las necesidades energéticas de toda la humanidad. En un futuro próximo esto será cada vez más inviable debido al agotamiento de los yacimientos y, al mismo tiempo, a una demanda energética creciente. Ostwald ve el imperativo de Kant como una ley moral, mientras que en el caso de su imperativo se trata de una ley natural. Que una ley moral se observe o no es una cuestión ética que decide sobre la calidad de la convivencia en sociedad. Una ley natural, por el contrario, no nos deja opción. Si no la observamos tendrá consecuencias de tal gravedad para la sociedad que también haría imposible la puesta en práctica de los principios éticos de Kant.

Las advertencias elementales de Ostwald se pasaron por alto a pesar de ser uno de los científicos que gozaba de reconocimiento mundial en su época, aunque también es cierto que a principios del siglo xx el consumo energético todavía era comparativamente bajo. La Tierra tan solo albergaba 1.500 millones de personas en vez de los 6.500 millones de hoy. La electrificación acababa de empezar, al igual que el tráfico de automóviles. Todavía no existía el tráfico aéreo y el volumen comercial y por ende de lo transportado era claramente inferior, había pocos electrodomésticos que consumieran energía y no existían ni la radio ni la televisión. Las advertencias elementales de Ostwald

1. Wilhelm Ostwald, *Der energetische Imperativ*, Leipzig, 1912, pp. 81 y ss.

llegaron, según se miré, demasiado pronto o demasiado tarde. Demasiado pronto porque el problema aún no era acuciante y demasiado tarde porque la economía energética fósil ya estaba firmemente establecida, ejerciendo una influencia decisiva sobre la política, las empresas industriales y en última instancia sobre el desarrollo tecnológico.

A principios del siglo xx, la economía energética fósil ya presentaba una historia de más de 100 años. Había surgido gracias a una revolución tecnológica: la máquina de vapor de James Watt. Patentada en 1769, al principio se alimentaba con carbón vegetal y más adelante se pasaría a la hulla. Se convirtió en el motor de la Revolución Industrial al utilizarse en la producción industrial, después en la navegación a vapor y en las locomotoras de vapor para los ferrocarriles en plena expansión y, finalmente, en centrales termoeléctricas, que hasta el día de hoy representan la tecnología de la mayoría de las grandes centrales térmicas, desde las centrales de carbón hasta las centrales nucleares. La máquina de vapor cimentó la creación de la economía energética moderna que, en primer lugar, fue una economía basada en el carbón, ampliándose después con una economía del petróleo y del gas: se convirtió en una economía de combustión energética. Únicamente un segundo desarrollo de la ingeniería energética tendría un significado de igual envergadura: el motor de explosión, con el que se inició la revolución automovilística y se hizo posible el tráfico aéreo. Pero también esta revolución, para su desarrollo y especialización tecnológica, se basó en las energías fósiles que ya proporcionaban la oferta energética, lo que impulsó todavía más la economía energética fósil. Visto desde esta perspectiva ha sido una única tecnología la que ha encauzado de forma casual y con la mejor intención, pero con reacciones en cadena inesperadas, la economía energética durante más de dos siglos.

La caja de Pandora se había abierto. En la mitología griega, la figura de Pandora, junto con Prometeo, representa el drama energético de la humanidad. Prometeo simboliza un nuevo diseño energético o la búsqueda de este, como aquel que robó el fuego del cielo y enseñó a los hombres a utilizarlo. El padre de los dioses Zeus lo consideró un sacrilegio porque con esto se les deparó gran miseria a los hombres sin que estos lo intuyeran en su exaltación, por lo que encadenó a Prometeo a una roca. Pero como no era posible volverles a arrebatar el fuego a los hombres, Zeus también decidió castigarlos. Creó la figura de Pandora y le regaló una caja cerrada que contenía todas las tentaciones malvadas. Estas se desperdigaron por toda la Tierra cuando Pandora, con curiosidad, abrió la caja. En la caja solo quedó la esperanza de un mundo mejor. O sea que Prometeo simboliza la presuntuosa aspiración a posibilidades que superan la medida humana y Pandora la tentación de liberar despreocupadamente las desgracias resultantes.

Todas las preocupaciones de que el suministro energético y todos los ámbitos de la vida social hubiesen apostado ampliamente y de forma penetrante por los yacimientos energéticos fósiles fueron disipadas en los años cincuenta por la energía nuclear. Esta fue elogiada como alternativa limpia y supuestamente baratísima respecto a las energías fósiles en proceso de agotamiento. Parecía un nuevo regalo que Prometeo había hecho a los hombres. En la euforia atómica se pasaron por alto todas las advertencias de que se conducía a la sociedad de un callejón sin salida fósil a otro nuclear. La energía nuclear, tan compleja, fascinaba y a los físicos atómicos se les tributaba máximo respeto. Era inconcebible que la fisión nuclear, una conquista superior a todas las habidas antes en física, desarrollada para la construcción de bombas nucleares, no pudiera tener también un valor añadido civil excepcional. Los primeros críticos de la energía nuclear fueron declarados personas marginales. Esto tuvo que vivirlo, por ejemplo, Karl Bechert, un renombrado catedrático de ciencias naturales que a su vez era miembro del parlamento alemán. Con insistencia advertía de los peligros sin solución de la energía nuclear. Cuando en 1957 se aprobó la ley alemana sobre energía nuclear, que le allanaría el camino, el único que votó en contra fue él. Incluso dentro de su propio partido, el SPD, predicaba en el desierto. Su oposición se consideró escandalosa.

La primera generación de la posguerra sufrió la conmoción de los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945 y vivió en la «guerra fría», iniciada poco después entre «oriente» y «occidente», con el miedo acuciante de una guerra atómica. Esto también explica la esperanza de una «utilidad pacífica de la energía nuclear»: a la vista de la carrera armamentística atómica y de las estrategias de intimidación atómicas era cuestión de encontrarle un aspecto constructivo a la tecnología destructiva de la fisión nuclear. Esto propició que el movimiento contra la bomba atómica se convirtiera en uno a favor de las centrales nucleares. Solo más tarde, a partir de los años setenta, fue cuando maduró y se difundió el conocimiento de que también esta esperanza es una quimera peligrosa. Pero la conclusión que ahora se está imponiendo todavía no se sacó en aquellos días: centrar la atención por completo en las energías renovables, o sea, en la alternativa no fósil a la energía nuclear. Incluso al movimiento ecologista, en gestación en aquellas fechas, le parecía inverosímil que las energías renovables pudieran suplir todas las necesidades energéticas de los hombres. Hasta bien entrados los años noventa, la mayoría de los científicos y políticos evitaba declararse abiertamente a favor de las energías renovables como opción del mismo tipo o incluso superior y de mayor calidad para el suministro energético. Incluso los defensores de las energías renovables se sometieron a la opinión predominante, promoviendo a menudo sus proyectos en tono de disculpa. Eran conscientes de que estaban cometiendo herejía contra la declarada «era atómica».

El poder de lo existente

La visión del mundo del suministro energético fósil y nuclear

Durante décadas la energía nuclear ha distraído respecto al hecho de que las energías renovables representan la verdadera alternativa a las energías fósiles. A la energía nuclear se le dio el papel principal en la era postfósil, incluso con derecho de exclusividad. Si por el contrario hace medio siglo se hubiese apostado por las energías renovables con la misma vehemencia, seguramente hoy no tendríamos un problema climático que amenaza la supervivencia de la civilización mundial; no hubiésemos tenido que presenciar guerras energéticas como la guerra del Golfo o la guerra de Iraq; habría mucha menos contaminación atmosférica y menos enfermedades; y tampoco existirían los residuos radioactivos de los que todavía desconocemos dónde, cuándo y cómo podemos almacenarlos a largo plazo y con seguridad, y qué problemas y costes nos dejan en herencia para períodos de tiempo inimaginables. Probablemente, haría tiempo que existiría una industria de productos de tecnología limpia, casi no existirían los refugiados medioambientales y habría menos pobreza en los países en vías de desarrollo. En la actualidad viviríamos en un mundo sin miedo colectivo al futuro y la civilización mundial podría estar segura de legarles las mismas oportunidades de vivir a las generaciones futuras en vez de lastrarlas con cargas insoportables.

Estas reflexiones son más que una retrospectiva melancólica: ya en los años cincuenta las energías renovables ofrecían realmente más oportunidades tecnológicas al alcance de la mano que la energía nuclear; antes de que se construyera la primera central nuclear, ya se habían puesto en práctica numerosas experiencias en este campo. Ya se sabía cómo producir electricidad a partir del viento desde que el director de escuela danés Paul la Cour puso en funcionamiento la primera instalación de este tipo en 1891. En Estados Unidos en los años treinta, ya existían varios millones de molinos de viento en las regiones granjeras.² Francia ya había demostrado cómo producir electricidad en centrales térmicas de energía solar, lo que puede leerse en el libro *El aceite de oro*, de Marcel Perrot.³ También la generación eléctrica por transformación de la luz (fotovoltaica) hacía sus primeros avances a partir de mediados de los años cincuenta. En principio había sido desarrollada para la astronáutica, como se recapitula en el libro pionero sobre la historia de esta tecnología de Wolfgang Palz.⁴ Ya era sabido desde hacía tiempo que se puede producir electricidad mediante turbinas impulsadas por agua, pues la historia

2. Marcel Perrot, *La houille d'or*, París, 1962.

3. Erik Hau, *Windkraftanlagen*, Heidelberg, 1989, pp. 22 y ss.

4. Wolfgang Palz, *Power of the World. The Emergence of Electricity from the Sun*, Singapur, 2010.

de la producción eléctrica empezó con numerosas minicentrales hidroeléctricas antes de imponerse la tendencia de las grandes centrales hidroeléctricas con embalses cada vez mayores. Las minicentrales descentralizadas en aguas fluyentes hacia tiempo que representaban un gran potencial de producción, pero paulatinamente fueron dejándose de lado. También para el aprovechamiento del biogás ya hubo muchos ejemplos, al igual que para los combustibles a partir de biomasa. Los requerimientos tecnológicos para convertir estas opciones en un sistema fiable de suministro eléctrico siempre fueron menos complejas y costosas que en el caso de la energía nuclear. Hoy en día, y a pesar de la discriminación todavía existente de las energías renovables en la política estatal de investigación si se compara con la energía nuclear, las posibilidades técnicas y económicas para una reorientación hacia las energías renovables están tan desarrolladas, que la transformación completa del suministro energético puede impulsarse con celeridad sin más demoras, pudiendo así finalizar la era atómica y fósil.

En el transcurso del siglo xx, el suministro energético basado en las energías fósiles y nuclear se convirtió en el ideal que debía perseguirse. Este se caracteriza por su fijación en las grandes centrales eléctricas y las redes eléctricas diseñadas para estas. Los ideales perseguidos por varias generaciones se convierten en axiomas, esto es, la aprobación fundamental que ya no requiere ninguna prueba adicional y cuyo cuestionamiento se convierte en tabú. En la ciencia esto se convirtió en paradigma, determinando la dirección del pensamiento y excluyendo cualquier protesta. El consenso de la ciencia se contagió a la política, la economía y la sociedad en general, determinando decisiones que adoptan forma física y se convierten en evidencia para amplios sectores de la sociedad. Las personas habitualmente intentan comprender el mundo en base a lo que ven y lo que ha caracterizado su comportamiento. El paradigma se convierte en la visión del mundo que incluso inconscientemente sigue determinando nuestro pensamiento y actuación cuando ya existen alternativas. Se mantiene con mayor vehemencia cuando existen poderosos intereses con influencia sobre la opinión pública que desean aferrarse a él. El resultado es una visión hermética de la cuestión con una percepción externa limitada.

El ejemplo histórico más popular de aferramiento incondicional a una determinada visión del mundo es el de la Iglesia católica frente a la evidencia de que la Tierra gira alrededor del Sol. Este descubrimiento del astrónomo Nicolas Copérnico (1473-1543) contradecía el modelo geocéntrico que se había convertido en dogma de la iglesia: la Tierra era el centro del universo y el hombre, el de la creación. No obstante, el conflicto inherente solo se desencadenaría en el momento en que la nueva visión heliocéntrica del mundo fue confirmada y hecha pública por Galileo Galilei (1564-1642), el científico

más famoso de su época. Por este motivo fue acusado de herejía. Transcurrieron trescientos sesenta años hasta que Galileo volvió a ser rehabilitado públicamente en el año 1992 por el papa Juan Pablo II, después de una investigación que duró 13 años, o sea, en un momento en que el modelo heliocéntrico hacía tiempo que tenía validez universal. El reconocimiento de que las energías renovables son la perspectiva global para el suministro energético de la humanidad implica un cambio copernicano-galiléico en el pensamiento sobre la energía y en la práctica de la provisión energética. La negación de las energías renovables y la difamación de sus protagonistas no ha durado tanto como en el caso de Galileo; sin embargo ha tenido muchas más consecuencias para el desarrollo mundial reciente.

También los defensores del suministro energético convencional tienen su curia, sus teólogos y una estructura de organización bien establecida: consorcios energéticos, instituciones energéticas internacionales (Organización Internacional de la Energía Atómica, Agencia Internacional de la Energía, Agencia de Energía Nuclear, EURATOM), así como instituciones nacionales. Estas monopolizaron durante décadas la discusión sobre la energía, representando hasta el día de hoy el pensamiento energético tradicional. El cambio a las energías renovables requiere, ya desde el punto de vista físico, un nuevo pensamiento. Ningún sistema de suministro de energía, a saber, el esfuerzo tecnológico, de organización, de economía financiera y político global para poner a disposición la energía, puede ser neutral frente a sus fuentes energéticas. Sería un desarrollo erróneo en extremo conservar las estructuras hechas a la medida de las energías fósiles y nuclear, reemplazando únicamente las fuentes energéticas que contienen estas. Las exigencias tecnológicas, de organización, financieras y políticas respectivas a un abastecimiento de energía no pueden verse ni comprenderse con independencia de las correspondientes fuentes energéticas. Sin la percepción energética, tecnológica, económica y social nos volvemos ciegos frente a las diferencias entre las fuentes energéticas que van mucho más allá del suministro energético. A nosotros solo nos corresponde tomar una decisión: la de la fuente energética en sí misma, que representa el «gen» de un sistema energético. Tras elegir una fuente energética, esta decide indirectamente todo lo que es necesario para suministrarla y conservarla. Después será inevitable seguir las diferentes legitimidades físico-técnicas de la fuente de energía respectiva a lo largo de toda la cadena energética desde el lugar de apropiación hasta el usuario final.

Los destinatarios de cualquier suministro energético son los consumidores finales. El consumo en definitiva siempre será descentralizado, ya sea en cantidades mayores como en una fábrica, en aglomeraciones urbanas o en múltiples formas y cantidades más reducidas, en el hogar o el automóvil. El consumo energético descentralizado es el único punto en común forzoso del

suministro energético convencional y renovable. Las materias primas de las energías fósiles y nuclear solo se encuentran en determinados lugares del planeta, allí donde las reservas de carbón, uranio, petróleo y gas natural se encuentran concentradas en el subsuelo. Desde allí estas energías son transportadas por largos trayectos hasta las centrales energéticas y refinerías y a millones de consumidores de energía en casi todo el mundo, allí donde los hombres viven y trabajan: esto significa que se da un desacoplamiento de los espacios de extracción de la energía y los espacios de consumo energético. Este flujo energético desde pocos yacimientos de extracción en contados países hacia miles de millones de consumidores en todo el mundo únicamente pueden permitírsele grandes consorcios energéticos de actuación transnacional o mediante cooperaciones. Y como en ningún punto de la cadena puede faltar un eslabón, estos dependen de una estrecha colaboración con los gobiernos, y viceversa. Esta es la razón por la que los gobiernos se han convertido en un elemento integral de la economía energética nuclear/fósil. Así nació, en analogía terminológica al «complejo político-militar», el «complejo político-energético-económico». La economía energética convencional pudo hacerse imprescindible y seguirá siéndolo hasta el momento en que las energías fósiles y nuclear sean sustituidas por las energías renovables. Ha encadenado a las sociedades y anexionado la autognosis de una «guardiana de la economía social», mientras que los gobiernos se convirtieron en «guardianes de la economía energética». No solo conquistó una posición de monopolio u oligopolio, predeterminada por sus fuentes energéticas, sino también un monopolio intelectual. Ha caracterizado la visión del mundo del suministro energético, que no surgió de una conspiración, sino de las exigencias inherentes de las fuentes energéticas escogidas.

Esta también es la razón por la que a las energías renovables siempre se las ha tratado, y sigue tratando, con la misma incomprensión y las mismas reservas de falta de eficiencia —siempre y cuando no se integren en el suministro energético centralizado determinado por las ubicaciones de extracción convencionales como puedan ser las grandes centrales hidroeléctricas. A pesar de que la economía energética convencional también debe estar orientada a una amplia distribución descentralizada, la producción ampliamente diseminada resultante de la explotación de las energías renovables sería prácticamente inconcebible. La energía primaria es gratuita. Franz Alt, el periodista más comprometido con las energías renovables del mundo, acuñó la frase «El sol no nos pasa factura» para resaltar este hecho. Esta es la razón por la que nadie puede monopolizar las energías renovables. Están presentes como ofertas energéticas naturales, sin que importe que las aprovechemos activamente o no. Su potencial mundial es increíblemente grande. El astrofísico Klaus Fuhrmann hizo el siguiente cálculo: en el transcurso de un segundo el sol transforma cuatro millones de toneladas

de materia en energía y la irradia: 386.000.000.000.000.000.000 (386 mil trillones) de vatios por segundo; media mil millonésima parte de esta magnitud alcanza nuestro planeta.⁵ Esto continúa siendo 20.000 veces más que los requerimientos energéticos diarios de la humanidad. Cualquier duda de si este potencial no pudiera ser suficiente para el abastecimiento energético de la humanidad es ridícula.

Como energía ambiental natural, las energías renovables están presentes en todo el globo terráqueo, pero con intensidad variable. Posibilitan la obtención de energía descentralizada para el consumo energético descentralizado, o sea la coincidencia de los espacios de la obtención energética con los del consumo energético. Los transportes de energía primaria son, excepto en la bioenergía, innecesarios e imposibles. Ya no se trata de alcanzar la ambición físico-científica de «densidades energéticas» cada vez mayores, desde las energías fósiles hacia la mucho más alta de la fisión nuclear y, más adelante, a la máxima de la fusión nuclear, como consecuencia ineludible de la apropiación y transformación de esta energía por unos pocos proveedores energéticos centralizados y su venta y distribución a todos. Con las energías renovables es posible tomar la senda a la inversa: la apropiación y la transformación de la energía potencialmente por todos y, en consecuencia, la liberación global de dependencias existenciales. Se trata de un camino a partir de la determinación energética por fuerzas ajenas hacia la creciente autodeterminación energética para individuos y sociedades. Es un cambio que lleva desde la desintegración del hombre de los ciclos naturales hacia su reintegración, desde la simplicidad estructural globalizada del abastecimiento energético hacia la diversidad estructural y una división del trabajo novedosa en la economía mundial.

Para los físicos de alta energía esto significa un paso atrás. Lo mismo es válido para la economía y la política energéticas que se han desarrollado a partir de pequeñas centrales eléctricas y estructuras de suministro municipales hacia magnitudes cada vez mayores. ¿Y ahora debe ser a la inversa? Todos los costes para las energías renovables son costes tecnológicos, pero su apropiación no debe centralizarse. Esto significa que no es necesario organizar un «*upstream*» (denominación típica en la jerga «petrolera») para distribuirla a continuación en un «*downstream*» a miles de millones de personas. El cambio hacia las energías renovables exige un nuevo pensamiento energético que sitúe el suministro energético, junto con la tecnología de transformación y abastecimiento, así como las formas de aprovechamiento y empresa-

5. Klaus Fuhrmann, «Ohne Sonne geht gar nichts. Warum konventionelle Energiequellen nur marginal die Energiebedürfnisse befriedigen», *Solarzeitalter*, 2 (2001), p. 36.

riales específicas necesarias, sobre numerosos pilares. No solo a los grupos de intereses vinculados a las estructuras energéticas convencionales les es difícil comprender la especial lógica tecnológica y social de las energías renovables y reconocer su verdadero potencial.

Estimaciones falsas

El hermetismo del pensamiento energético convencional

El hecho de aferrarse consciente o inconscientemente al pensamiento energético tradicional es la causa esencial de numerosas estimaciones científicas y políticas erróneas en cuanto a las energías renovables. Así, en 1977, Hans-Karl Schneider, director ancestral del Instituto de Economía Energética de la Universidad de Colonia, que durante un tiempo también fue presidente del «Consejo de expertos del gobierno federal alemán para el dictamen del desarrollo económico global», declaró: «Más del 5% no son posibles con la energía solar, eólica, geotérmica y otras energías “exóticas”.» En 1990, el «Círculo informativo de la energía nuclear», financiado por los grupos energéticos alemanes, notificó:

En 1988 cada centésima de kilovatio hora en Dinamarca fue producido por la energía eólica, lo que corresponde a una proporción del 0,9% del consumo eléctrico total. Un aprovechamiento intensivo comparable de la energía eólica en Alemania no es posible debido a las condiciones climáticas diferentes.

En 1993 se podía leer en un anuncio de las compañías eléctricas publicado en todos los grandes periódicos del país:

¿Puede Alemania abandonar la energía nuclear? Sí. No obstante, la consecuencia sería un incremento enorme de la combustión de carbón y, por consiguiente, del gas invernadero CO₂, ya que las energías regenerativas como el sol, el agua y el viento a largo plazo no pueden cubrir más del 4% de nuestra demanda energética. ¿Podemos asumir la responsabilidad de esta manera de proceder? No.⁶

En junio de 2005, la presidenta de la Unión Cristiano-Demócrata (CDU) Angela Merkel declaró: «El incremento de la proporción de energías renovables en el consumo eléctrico a un 20% es poco realista.» Dos años más tarde, entretanto convertida en canciller de la República Federal de Alemania, como

6. Otras pruebas de estimaciones falsas pueden encontrarse en: *Agentur für Erneuerbare Energien: Vorhersage und Wirklichkeit*, Kurzgutachten, mayo de 2009.

presidenta del Consejo de la UE, impuso una resolución que prescribe una proporción del 20% de energías renovables en el consumo energético global hasta 2020. En 2006, el ministro de medio ambiente federal alemán, Sigmar Gabriel, afirmaba basándose en un peritaje que la cuota de energías renovables en el suministro eléctrico hasta 2025 solo podría situarse como máximo en un 27%, lo que correspondería a la cuota de la energía nuclear en el suministro eléctrico alemán. Tres años más tarde, en el programa electoral del partido socialdemócrata (SPD) para las elecciones generales de 2009, se exigía la ampliación de la cuota de las energías renovables en el suministro eléctrico en como mínimo un 35% hasta 2020 y en «por lo menos a la mitad» hasta 2030. El optimismo en relación con las energías renovables creció considerablemente en muy poco tiempo.

También las predicciones científicas se han quedado continuamente cortas, incluso cuando procedían de asociaciones partidarias de las energías renovables. En 1990, la EWEA (European Wind Energy Association) pronosticó para el año 2000 una potencia instalada de energía eólica en los ancestrales 15 países miembros de la UE de 4.089 MW cuando, hasta esa fecha, ya se habían realizado 12.887 MW. En 1998 presentó una nueva previsión, indicando en esta 36.378 MW de energía eólica hasta 2007, pero llegada la fecha ya se habían instalado 56.535 MW. Incluso las previsiones de la Comisión de la UE, que se basa en prestigiosos institutos científicos, se encontraban muy por debajo del desarrollo real. En 1996 se publicó un «escenario básico» y un «escenario avanzado» más optimista. En el primero hablaba de 6.799 MW de potencia eólica instalada en la UE de los 15 hasta el año 2007 que presentó una cuota de error del 732% frente al aumento real alcanzado en aquel entonces. En el otro pronosticaba una cuota de 30.280 MW de energía solar y eólica hasta 2020, un valor que en el año 2008 se superó con creces con 73.504 MW instalados. En 1998, la UE presentó otra previsión en la que se nombraban 47.100 MW de energía eólica para 2020, cuando ya se habían superado en el año 2008 con 64.173 MW. Para la energía solar térmica se anunciaron 10.440 MW hasta 2020, capacidad que se alcanzó ya en 2007.

También las predicciones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) se quedan regularmente por detrás del desarrollo real. En 2002 pronosticó en su «World Energy Outlook» una potencia instalada de energía eólica de 71.000 MW para la UE de los 15 en 2030; esta ya se había alcanzado en el año 2009. Para la fotovoltaica pronosticó una potencia instalada de 4.000 MW hasta 2020, pero en el año 2008 ya eran 9.331 MW. En todo el mundo su previsión para la energía eólica fue de una potencia de 100.000 MW hasta 2020 que se habían superado con creces en 2008 con 121.188 MW. La AIE compara regularmente la infravaloración sistemática de las energías renovables con sobrevaloraciones de las energías fósiles y nuclear. Así, en el año 2007, cuan-

do el precio del barril de petróleo se situaba aproximadamente en unos 100 dólares estadounidenses, declaró que hasta 2030 el precio del crudo se estabilizaría en una media de 62 dólares estadounidenses. Dos años antes había anunciado un precio medio de 30 dólares para los próximos 20 años. La AIE es una organización gubernamental internacional de los estados de la OCDE, en cuyo «juicio pericial» se orientan tanto gobiernos como empresas inversoras e institutos crediticios para tomar sus decisiones; también se basa en numerosas publicaciones científicas sobre la energía. Con sus previsiones erróneas ha contribuido en gran medida a decisiones políticas equivocadas, a inversiones equivocadas en el ámbito de las energías convencionales y a decisiones omitidas para fomentar las energías renovables. A pesar de todo, los gobiernos le siguen encargando nuevos estudios, sobre todo con ocasión de las cumbres de la economía mundial (G8 o G20).

Las estimaciones y previsiones citadas sobre el potencial de aprovechamiento de las energías renovables muestran de qué manera han quedado en entredicho precisamente los expertos energéticos de renombre. Esto pudo pasar porque no se deseaban otros resultados o porque su horizonte intelectual no alcanza a comprender que la consolidación de las energías renovables con instalaciones descentralizadas transcurre de manera totalmente diferente a la planificación de inversiones con instalaciones de gran tamaño. Cuando ahora las nuevas previsiones hablan de tasas de ampliación mayores que hasta la fecha y estas vuelven a representar el límite de las posibilidades reales, deberán tolerar la pregunta de si no se estarán equivocando de nuevo.

Incluso el pronóstico de la Asociación Federal Alemana de Energías Renovables (Bundesverband Erneuerbare Energien, BEE), que es una de las pioneras activas, es más conservador de lo que podría serlo. Este prevé una cuota posible de energías renovables en el suministro eléctrico alemán del 47% para el año 2020, lo que significa triplicar la cuota del 17%, alcanzada en el año 2009, en el transcurso de 10 años. Como viene siendo habitual, muchos consideran que esta cifra claramente más optimista es poco realista, aunque resulta bastante fácil calcular por qué la cuota podría ser substancialmente más alta hasta 2020. Solo hay que tomar como ejemplo la implantación de la energía eólica que, a finales de 2009, proporcionaba cerca del 9% del consumo eléctrico neto de Alemania, con un total de 25.777 MW de potencia instalada procedente de 21.164 instalaciones.⁷ Esto implica una potencia media individual por instalación de 1,2 MW. Si únicamente se incrementara la potencia de las instalaciones individuales (*repowering*) autorizando instalaciones de más potencia para incrementar así la potencia media de estas hasta 2,5 MW, se triplicaría la cuota

7. DEWI, *Status der Windenergienutzung in Deutschland*, versión de 31/12/2009.

de la energía eólica en el suministro eléctrico desde un 9 hasta un 27%. Técnicamente no existe ninguna limitación y desde el punto de vista económico así se reducirían los costes de la electricidad eólica.

En la siguiente tabla se muestra el número de los aerogeneradores instalados en relación con la superficie del Estado federado correspondiente. El resultado es sumamente revelador: el margen de fluctuación entre los Estados federados de gran superficie va desde un aerogenerador por cada 5,6 km² en Schleswig-Holstein hasta uno por cada 183,7 km² en Baviera. La cuota de energía eólica en el consumo neto de electricidad de los Estados federados va

**Cuota de producción energética anual potencial a partir
de aerogeneradores sobre el consumo eléctrico bruto/neto**

Estado federado	Número aerogeneradores hasta 31/12/2009	Potencia instalada hasta 31/12/2009 en MW	Cuota sobre el consumo eléctrico neto en %	km ²	Número de km ² por aerogenerador
Sajonia-Anhalt	2.238	3.354,36	47,08	20.445	9,1
Meclenburgo-Pomerania Occidental	1.336	1.497,90	41,29	23.180	17,3
Schleswig-Holstein	2.784	2.858,51	39,82	15.763	5,6
Brandeburgo	2.853	4.170,36	38,12	29.470	10,3
Baja Sajonia	5.268	6.407,19	22,78	47.618	9,0
Turingia	559	717,38	11,04	16.172	29,0
Sajonia	800	900,92	7,75	18.413	23,0
Renania Palatinado	1.021	1.300,98	7,40	19.853	19,4
Renania del Norte-Westfalia	2.770	2.831,66	3,63	34.088	12,3
Bremen	60	94,60	3,02	400	6,7
Hesse	592	534,06	2,15	21.115	35,6
Sarre	67	82,60	1,67	2.569	38,3
Baviera	384	467,03	0,83	70.549	183,7
Baden-Wurtemberg	360	451,78	0,81	35.753	99,3
Hamburgo	59	45,68	0,54	755	12,8
Berlín	1	2,00	0,03	892	892,0
República Federal de Alemania	21.164	25.777,01	8,63	357.112	16,9

desde cerca del 47% en Sajonia-Anhalt, el 41% en Mecklenburgo-Pomerania Occidental, casi el 40% en Schleswig-Holstein y el 38% en Brandeburgo —entre estos, Sajonia-Anhalt y Brandeburgo como Estados sin acceso al mar— hasta solo un 2% en Hesse, un 0,8% en Baviera y Baden-Wurtemberg. Estas diferencias solo pueden explicarse políticamente: en los estados federados de la cola reina una clara planificación política de obstaculización.

Si todos los estados federados hubiesen adoptado la misma práctica de concesión que la de Sajonia-Anhalt, con una densidad de un aerogenerador por cada 9,1 km², en el año 2009 ya podrían existir 37.000 en vez de 21.164 aerogeneradores con una potencia instalada de 44.000 MW, si se tiene en cuenta una potencia media de 1,2 MW. ¡La cuota de la energía eólica sobre el consumo eléctrico neto se situaría en un 16 en vez de en un 9%! Más todavía: si se recuperara el desarrollo hasta ahora obstaculizado en los países rezagados en los próximos 10 años y esto directamente con una potencia media de 2,5 MW —al mismo tiempo que se incrementara la potencia de los aerogeneradores hasta ahora instalados— resultaría una cuota de la energía eólica en el suministro eléctrico de casi un 50%. Una posibilidad al alcance de la mano de modo que la cuota de energías renovables pase del 16% a mucho más del 60% del suministro eléctrico solo en el transcurso de una década es posible gracias al potencial creciente de electricidad solar, así como la electricidad generada con biogás y energía geotérmica, una proporción creciente de pequeños aerogeneradores instalados en edificios (una de las tecnologías emergentes que hoy están conquistando el mercado) y, la nada despreciable cuota de minicentrales hidroeléctricas. Únicamente esto incrementaría la cuota de las energías renovables sobre el consumo energético total en Alemania de un 10% actual a un 40%. Si al mismo tiempo se consiguiera un aumento general de la eficiencia energética de cerca del 30% en el transcurso de diez años, la cuota de las energías renovables en el consumo eléctrico ya pasaría a superar el 70%. De este modo la reconversión plena del abastecimiento energético podría conseguirse sin dificultad para el 2030. El esfuerzo para conseguirlo —y la supuesta exigencia de carácter estético que de forma desmesurada se aplica al desarrollo de la energía eólica— es claramente inferior a la exigencia desproporcionada a la sociedad cuando se le reclama apostar por la energía atómica o las centrales térmicas de carbón.

Pesimismo afirmativo de los expertos

Los errores estimativos descabellados *a posteriori* no son poco comunes en las nuevas tecnologías. Son parte de la historia política, económica y tecnológica, y expresan un pesimismo típico para los expertos de los planteamientos convencionales. En 1878, Western Union, en aquel entonces la mayor com-

pañía de telecomunicaciones de EE UU, declaró: «El teléfono presenta demasiados defectos que deben tenerse en cuenta para un medio de comunicación. El aparato, por su naturaleza, no tiene ningún valor para nosotros.» Lord Kelvin, presidente de la Royal Society británica, declaró en 1895 que nadie sería capaz de construir máquinas voladoras más pesadas que el aire. Harry M. Warner, uno de los mayores productores cinematográficos de EE UU, opinó en 1927 sobre la tecnología de las películas sonoras: «¿Quién demonios quiere oír hablar a los actores?» Ken Olsen, jefe de Digital Equipment Corporation (DEC), una de las primeras grandes compañías informáticas de EE UU, dijo en 1977: «No existe ninguna razón por la que un individuo cualquiera quiera tener un ordenador en casa.» En 1982, IBM, en aquel entonces todavía la empresa mundial líder en tecnologías de la información, rechazó adquirir la entonces todavía joven empresa Microsoft porque no valía los 100 millones de dólares exigidos; IBM estaba convencida de que el futuro del ordenador residía en computadoras centrales. La consultoría de renombre mundial McKinsey pronosticó en 1980, por encargo del consorcio de telecomunicaciones estadounidense ATT, que hasta el año 2000 solo existirían 0,9 millones de teléfonos móviles en EE UU; en realidad se contabilizaron 109 millones en aquel año. Todos los fabricantes de automóviles han subestimado mucho más allá del año 2000 el significado del coche eléctrico y se preparan desde hace poco con celeridad para llevar esta tecnología del automóvil a la producción en serie. Este tipo de errores resultan del pensamiento en estructuras conservadoras, de la visión limitada por parte de los expertos reconocidos y de las estimaciones erróneas respecto de las necesidades humanas. No en vano resultan de una infravaloración de la dinámica de mercado, cuando la introducción de una tecnología no depende de unos pocos compradores al por mayor, sino que se realiza a través de numerosos clientes que reconocen el valor útil para sí mismos.

Escenarios 100%

De las posibilidades técnicas a las estrategias

Cuando, en 1988, en el momento de su fundación, Eurosolar declaró que su objetivo, la «era de la energía solar», en la que ya solo se utilizarían energías renovables, era una «visión real» para el siglo XXI, todavía se consideraba un sueño atrevido. Un diputado del parlamento alemán, perteneciente al partido de los verdes y considerado como uno de sus pioneros, se extrañó declarando que, según sus conocimientos, no sería posible cubrir más del 10%. Cuando en 1995 Eurosolar realizó un simposio sobre planteamientos de abastecimiento total con energías renovables, este tipo de eventos todavía representaba una novedad. Pero, en aquel entonces, ya hacía tiempo que existía una serie de escenarios científicos que representaba en detalle esta posibilidad. El primer

«escenario 100%» que examina la posibilidad de un suministro energético completo a partir de energías renovables ya fue elaborado en 1975 en Suecia («Solar Sweden»), siguiéndole uno para Francia en 1978 (sin especificar año), en 1980 para EE.UU. con el año 2050 como objetivo, en 1982 para Europa Occidental con el año 2100 como objetivo y en 1983 para Dinamarca con el objetivo fijado para el año 2030. Harry Lehmann elaboró, por encargo del parlamento alemán, un escenario en 2002 que describe un abastecimiento energético basado en un 95% en las energías renovables para el año 2050.⁸ En 2007 Eurosolar elaboró un estudio de cómo el Estado federado de Hesse puede alcanzar un suministro eléctrico completamente basado en las energías renovables para el 2025. Sin embargo, ninguno de estos escenarios tuvo repercusión en la opinión pública, ni siquiera cuando (como en 1980 en EE.UU.) fueron publicados por organizaciones gubernamentales (en este caso por la Federal Emergency Management Agency, FEMA) y elaborados con la asistencia de la Union of Concerned Scientists, una organización científica independiente con numerosos premios Nobel entre sus miembros. En la discusión energética principal estos escenarios eran tabú. Incluso un representante de Greenpeace todavía me contestó en el año 2006 a mi pregunta de por qué su organización no hacía referencia a estos escenarios: «Queremos que se nos tome en serio». Entretanto Greenpeace ya publica sus propios escenarios 100%.

Hace poco que estos escenarios se elaboran con frecuencia y tienen cierta repercusión, como por ejemplo el escenario elaborado en abril de 2010 por la consultoría McKinsey y presentado por la European Climate Foundation (ECF), en el que se prevé un abastecimiento total de Europa con energías renovables hasta 2050. Llegan a la conclusión de que este no generaría costes energéticos superiores a los del sistema energético vigente.⁹

En la actualidad se han presentado varios escenarios 100% de muy diversa índole para Alemania. En mayo de 2010, el Consejo de Expertos del Gobierno Federal para Cuestiones Medioambientales (SRU) presentó tres opciones diferentes —relacionadas con el abastecimiento eléctrico— realizables con el año 2050 como objetivo:¹⁰ la primera se respalda exclusivamente en fuentes nacionales y se valora como la más costosa, lo que se justifica por la falta de capacidad de almacenaje, aunque solo se consideran sistemas de acumulación de aire comprimido y de bombeo de agua; la segunda opción hace refe-

8. Los escenarios se representan de forma resumida en mi libro *Autonomía energética*, Icaria, Barcelona, 2009, en las páginas 67-68.

9. European Climate Foundation: Roadmap 2050, *A practical guide to a prosperous low carbon Europe*, Bruselas, 2010.

10. Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), *100% erneuerbare Energien bis 2050*, mayo de 2010.

rencia a una cooperación eléctrica entre Alemania, Dinamarca y Noruega en la que la energía hidráulica noruega desempeñaría un papel crucial como energía de reserva y compensación, para lo que las potencias de transmisión deberían ampliarse de los 1.000 MW momentáneos a 16.000 MW hasta el año 2020 y hasta 46.000 MW hasta el año 2050; una tercera opción apuesta por la inclusión de electricidad solar procedente de África del Norte.

En junio, la Unión Alemana para la Investigación de las Energías Renovables (Forschungsverbund Erneuerbare Energien) presentó un plan global para el suministro energético exclusivo con energías renovables también con el año 2050 como objetivo.¹¹ En el suministro eléctrico, este plan se basa en una integración eléctrica europea. Para el tráfico rodado, parte de la premisa de que la movilidad pasará a ser eléctrica, y para el tránsito aéreo y marítimo supone una readaptación a combustibles sintéticos a partir de energías renovables, mientras que para el suministro de calor apuesta por los colectores térmicos de energía solar. La Unión Alemana para la Investigación también llega a la conclusión, en el «Sistema energético 2050», de que el abastecimiento total con energías renovables no será más costoso que el abastecimiento energético actual. Incluso podrían llegarse a ahorrar «730.000 millones de euros solo en los sectores electricidad y calor».

En su publicación *Energieziel 2050* (Objetivo energético 2050),¹² la Oficina Federal del Medio Ambiente también llega a la conclusión de que un «abastecimiento eléctrico global basado en las energías renovables en Alemania, como nación altamente industrializada, con el estilo de vida y los patrones de consumo y comportamiento actuales, es técnicamente posible para el año 2050.» Para conseguirlo presenta tres opciones: «unión regional», «tecnología pesada internacional» y «local y autosuficiente». Por otra parte, la readaptación completa del suministro eléctrico se valora como «económicamente favorable». Conduce a costes menores «que los que nos esperan en caso de un cambio climático desenfrenado a nosotros y a las generaciones futuras». En el centro del planteamiento se encuentra la «unión regional» que, en esencia, se basa en agotar los potenciales regionales de las energías renovables. Las supuestas necesidades eléctricas de 687.000 millones de kilovatios hora en el año 2050 se cubrirían en un 36% con la fotovoltaica, en un

11. Forschungsverbund Erneuerbare Energien: «*Energiekonzept 2050*». *Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbare Energien*, junio de 2010.

12. Oficina Federal Alemana de Medio Ambiente: *Energieziel 2050, 100% Strom aus erneuerbarer Energie* (autores: Thomas Klaus, Carla Vollmer, Kathrin Werner, Harry Lehmann, Klaus Müschen). Julio de 2010.

26% respectivo con la energía eólica procedente de mar y tierra, en un 3,5% con la energía hidráulica, en un 7% con la energía geotérmica y también en un 3,5% a partir de la biomasa residual. Como medidas se proponen el refuerzo del comercio con derechos de emisión, la mayor orientación de la tributación energética en las emisiones de CO₂ y el fomento de la integración del mercado en el sistema de las energías renovables.

Cada vez existen más iniciativas 100% en *ciudades y comarcas*. Una visión de conjunto nos la facilita el libro *100% Renewable Energy* de Peter Droege, que contiene estos enfoques para grandes ciudades como Múnich o nuevas ciudades como Masdar City en el emirato árabe Abu Dhabi.¹³ Asimismo, en el libro *Auf dem Weg zu 100 Prozent-Regionen*¹⁴ del grupo de trabajo para la gestión medioambiental responsable (BAUM-Bundesarbeitskreis für umweltbewusstes Management) se encuentra un resumen de las iniciativas regionales. Todo esto documenta con claridad, aun teniendo en cuenta las diferencias de detalle y consistencia: lo que se describe como posibilidad concreta para determinados países, incluso altamente industrializados, por principio es posible en cualquier otro lugar. Esto es tanto más válido cuanto que casi todos los escenarios y enfoques prácticos muestran que no han tenido en cuenta el amplio espectro de las opciones posibles ofrecidas por las energías renovables en su totalidad, ya que esto habría complicado los cálculos.

Un escenario 100% relativo a todo el planeta fue publicado en 2009 en la revista *Scientific American* por Mark Z. Jacobson de la Universidad de Stanford y Mark A. Delucchi de la Universidad de California con el título «Plan for a Sustainable Future».¹⁵ Apunta a una adaptación completa hasta el año 2030. Para conseguirlo se requieren 3,8 millones de aerogeneradores de 5 MW de potencia respectivamente, 490.000 centrales mareomotrices de 1 MW respectivamente, 5.350 centrales geotérmicas de 100 MW respectivamente, 900 grandes centrales hidroeléctricas de 1.300 MW respectivamente (de las que ya existe el 70%), 720.000 centrales de oleaje de 0,75 MW respectivamente, así como 1.700 millones de instalaciones fotovoltaicas sobre techo de 3 KW respectivamente, 40.000 centrales fotovoltaicas de 300 MW respectivamente y 49.000 centrales termosolares de 300 MW respectivamente. Las necesidades energéticas mundiales se calculan en 16,9 TW en el año 2030 si son cubiertas con energías convencionales, pero solo en 11,5 TW bajo la condición de

13. Peter Droege (editor), *100% Renewable Energy, Energy Autonomy in Action*, Londres, 2009.

14. Michael Stöhr et al., «Auf dem Weg zur 100%-Region. Handbuch für eine nachhaltige Energieversorgung in Regionen», Múnich, 2006.

15. Mark Z. Jacobson/Mark A. Delucchi «A Plan for a Sustainable Future. How to get all energy from wind, water and solar power by 2030», en *Scientific American*, noviembre de 2009.

ser energías renovables, ya que estas presentan claras ventajas de eficiencia, por ejemplo, al evitar pérdidas de energía en automóviles eléctricos. Los costes por kilovatio hora serían inferiores si se comparan con los costes de la provisión de energías fósiles o nuclear. Jacobson y Delucchi excluyen la bioenergía como opción debido a los temores ecológicos para las estructuras agrícolas y a las emisiones generadas. Como instrumento de actuación política recomiendan un enfoque «*feed in tariff*» (tarifas de conexión a la red garantizadas), tal como se practica sobre todo en Alemania y, en la actualidad, en unos 50 países más. La afirmación más importante de este escenario mundial es que los costes de inversión necesarios para hacerlo realidad se sitúan alrededor de los 100 billones de dólares estadounidenses. Esta cantidad se compara con los gastos por combustibles, carburantes y electricidad a nivel mundial que, en el año 2009, se situaron según diferentes estimaciones entre 5,5 y 7,75 billones de dólares estadounidenses. Esto significa que el cambio energético incluso es la solución más «económica» incluso si solo se contabilizan los costes energéticos directos de las energías convencionales, sin considerar los costes externos en forma de impactos climáticos, ambientales y para la salud.

Lo mismo es aplicable al estudio «*energy (r)evolution*»¹⁶ presentado en junio de 2010 por Greenpeace. Presupone unas necesidades energéticas en el ámbito mundial de 13,2 TW anuales que serían cubiertas en un 95% mediante energías renovables. La mayor contribución se le imputa a la energía eólica (24,7%), seguida por las centrales térmicas de energía solar (20,5%), la electricidad de generación fotovoltaica (15%), la energía hidroeléctrica (11,6%), la energía geotérmica (9,7%), la energía del mar (4,4%) y la bioenergía (4,2%). El estudio de Greenpeace recomienda como medidas las leyes de aplicación de las energías renovables, los instrumentos flexibles del comercio de derechos de emisión y la cancelación de las subvenciones energéticas a las energías fósiles y nuclear.

Ninguno de los escenarios debe tomarse al pie de la letra, como si pudiera implementarse tal como está escrito, o sea 1:1. Los pronósticos de las respectivas cuotas porcentuales de las energías renovables, en parte con cifras detrás de la coma y para períodos que comprenden varias décadas, no son posibles ni necesarios. Nadie es capaz de prever el desarrollo de costes y menos aún el desarrollo de precios de las tecnologías respectivas para períodos tan prolongados, ya que no es posible conocer sus curvas de aprendizaje y los saltos tecnológicos y, sobre todo, los actores potenciales y sus motivos. Nadie puede valorar los motivos de los inversores basándose únicamente en aspec-

16. Greenpeace, *energy (r)evolution. A Sustainable World Energy Outlook. 2010.*

tos técnicos o de costes. Y nadie puede prever los desarrollos políticos que favorezcan o dificulten el cambio hacia las energías renovables, ya sea dirigiéndolas hacia una dirección centralizada o descentralizada. Los escenarios tampoco ayudan a la hora de buscar estrategias de cómo superar resistencias y evitar contradicciones entre las diferentes recomendaciones de actuación. En otras palabras: los escenarios no son un sustituto de la búsqueda de objetivos políticos y la actuación pertinente. Lo cierto es que la relación de mezcla de las energías renovables será otra diferente de la prevista por cualquiera de los escenarios.

Además, no todas las instalaciones introducidas corresponderán a las magnitudes de potencia calculadas (en pro de simplificar los cálculos). Esta es la razón por la que toda una serie de opciones técnicas no se considera en los grandes escenarios. Especialmente en aquellos que hacen referencia a países enteros, a Europa o al mundo, no se consideran las numerosas instalaciones potenciales de menor tamaño, ya sea para la generación de electricidad solar, eólica, hidráulica, para el aprovechamiento energético geotérmico o las instalaciones para la producción combinada de electricidad, calor y refrigeración, así como los potenciales de obtención de energía integrada en edificios y aparatos, y diferentes métodos de almacenaje. No obstante, se trata de las que pueden realizarse con mayor rapidez y amplitud, ya que es posible utilizarlas de forma independiente, por lo que representan la transformación cultural del suministro energético. Por ello sorprende que la mayoría de los escenarios más recientes aplicados a países enteros prevén, por el contrario, la integración internacional de redes de gran cobertura, a excepción del escenario «unión regional» y «local y autosuficiente» de la Oficina Federal del Medio Ambiente y de una de las tres opciones presentadas por el Consejo de Expertos del Gobierno Federal para Cuestiones Medioambientales. Los proyectos e iniciativas 100% municipales y regionales son diametralmente opuestas a las de los borradores de las uniones de gran tamaño y ya se encuentran en plena implementación práctica.

Cómo se realizará en realidad el cambio hacia las energías renovables teniendo en cuenta todas las necesidades energéticas —a saber, con qué cuotas de las opciones técnicas respectivamente disponibles, con qué potencias y en qué país o región— solo se puede concretar y se concretará en el cambio energético específico practicado. La implementación del cambio energético será diferente país por país y región por región, según las condiciones políticas, geográficas, económicas y culturales. Por este motivo los escenarios en su totalidad no dejan de ser juegos de abalorios. Su importancia es otra: por principio evidencian la viabilidad técnica y económica de un suministro global con energías renovables. La puesta en práctica en sí puede ser más económica y, sobre todo, más diversificada gracias a la creciente variedad de tecnologías y su incremento de la productividad.

Estos escenarios son incluso más plausibles que aquellos presentados actualmente por las instituciones públicas —centros de investigación y organizaciones internacionales para la energía como la AIE— para las energías fósiles y nuclear. Escenarios que, por ejemplo, asumen reservas energéticas fósiles en magnitudes para las que no existen pruebas empíricas. O la inclusión, en proyectos futuros, de centrales nucleares como el «reactor de neutrones rápidos» del que no existe ningún ejemplo operativo hoy en día. O cuando la AIE recomienda la construcción de nuevos reactores atómicos sin indicar de dónde podría proceder el volumen de uranio necesario para explotarlos y cómo garantizar una deposición final segura a largo plazo de las cantidades ingentes de residuos radioactivos. La publicación *Energy Technology Perspectives 2010* incluso se atreve a pronosticar una cuota del 19% para el suministro energético mundial en el año 2050 con planteamientos CCS (Carbon Capture and Storage), con un total de 3.000 centrales térmicas en todo el mundo, a pesar de que existen grandes dudas sobre la viabilidad política y económica de esta tecnología. ¿Y la fusión nuclear en la que se trabaja con gastos desmesurados de miles de millones de euros? Nadie sabe si algún día funcionará, sobre los riesgos no se habla e incluso sus defensores dicen que no estará disponible antes de mitad del siglo XXI. A estas alturas ya debería haberse consumado con creces el cambio hacia las energías renovables. La fusión nuclear es la esperanza residual del antiguo pensamiento energético que ya ha llevado a la civilización mundial a una situación casi de colapso.

El tiempo de las energías subterráneas vinculadas al carbón y al uranio, al crudo y al gas natural expira indefectiblemente. Ha llegado la hora de las energías renovables de superficie. Su potencial actual ya era idéntico hace diez, cien o mil años, y no aumentará en diez, cincuenta, cien o muchos más años. Para dejar atrás la era fósil y atómica con celeridad, los escenarios 100% son una buena muleta intelectual, pero no nos ofrecen un plan o una estrategia. Tampoco el libro *Nuestra opción (Our choice)* de Al Gore, que lleva el subtítulo «Un plan para solucionar la crisis climática», cumple con las expectativas creadas. Contiene una sinopsis ilustrativa de todas las fuentes energéticas con preferencia clara por las energías renovables, centrando sus recomendaciones prácticas en un impuesto sobre las emisiones de CO₂ y el comercio con los derechos de emisión.¹⁷ Estos borradores no sirven de mucho para la implementación del cambio energético. La pregunta de *cómo* puede realizarse y *por quién* no encuentra respuesta. Si se busca imponer un plan político se requiere competencia estratégica para la lucha contra intereses y estructuras que quieren que fracase.

17. Al Gore, *Wir haben die Wahl. Ein Plan zur Lösung der Klimakrise*, Múnich, 2009.



La energía neta de la solar fotovoltaica en España. Los límites del desarrollo renovable

PEDRO A. PRIETO*

Introducción

El ser humano ha vivido acostumbrado a una disponibilidad siempre creciente de combustibles fósiles, desde el comienzo de la era industrial. Algunos estudios estadísticos retrospectivos señalan que el consumo mundial de combustibles fósiles sobrepasó al consumo de biomasa en algún momento de la década de 1890 (Smil, 1994). Por aquellas fechas, el planeta consumía energía fósil (carbón y muy poco petróleo) a un ritmo de unos 600 Gigavatios de potencia, mientras que en 2005 se utilizaban combustibles fósiles con una potencia equivalente a unos 12 Teravatios (unos 9.000 millones de toneladas de petróleo equivalentes al año),¹ unas veinte veces más (Smil, 2006).

Si reconocemos que los combustibles fósiles —fundamentalmente el petróleo— están sujetos a agotamiento (Campbell, 1998, 2002, 2008), parece importante valorar, en primer lugar y cuanto antes mejor, cuándo alcanzarán éstos el pico o cenit de sus respectivas producciones mundiales absolutas, y, en segundo lugar, intentar averiguar cuáles podrían ser a partir de ese momento las tasas de declive más razonables —en función de la experiencia acumulada tras más de 150 años de explotación— y las tasas previsibles de agotamiento mundial, sobre la base de las bien conocidas tasas de agotamiento de algunos grandes yacimientos o de los flujos energéticos declinantes de muchos países productores.

* Miembro de CiMA (Científicos por el Medio Ambiente) y vicepresidente de AEREN/ASPO Spain.

1. Una tonelada equivalente de petróleo (Tep) equivale a algo menos de 12 MWh.

Los miembros de la Asociación para el Estudio del Cenit del Petróleo y del Gas (ASPO, según sus siglas en inglés) creemos que la humanidad ya se encuentra al borde del cenit o producción mundial máxima de petróleo, y creemos asimismo que el gas seguirá el mismo camino con una o dos décadas de diferencia y que el carbón puede llegar también a su cenit particular antes de mediados del siglo actual. Una vez alcanzados estos límites, las tasas de declive de los grandes yacimientos —o las de más de cincuenta países productores de petróleo que ya están en diferentes fases de disminución— son bien conocidas. Estos descensos productivos por agotamiento geológico varían entre un 2% y un 20% anual, con un promedio reconocido de un 6,7% anual, que podría alcanzar el 9% si las inversiones en el sector no son lo suficientemente grandes (Biol, 2008). Biol, que es el economista jefe de la Agencia Internacional de la Energía, ha aludido asimismo a la necesidad de encontrar y poner en producción el equivalente a tres mares del Norte simplemente para compensar el agotamiento de los yacimientos existentes que ya están en declive, y también ha reconocido públicamente que, para mantener el nivel de crecimiento económico experimentado en las últimas décadas y el suministro de crudo asociado a éste, sería preciso hallar y explotar el equivalente a seis Arabias Saudíes entre 2010 y 2030 (Biol, 2009).

Según Vaclav Smil (2006: 2 y 3):

Hablando como un científico que confía en los primeros principios [de la termodinámica], tengo que hacer hincapié en la escala extraordinaria de la transición que tenemos por delante: el cambio a energías no fósiles es de un orden de magnitud superior al que se llevó a cabo en la transición de la biomasa a los combustibles fósiles, y sus peculiaridades acerca de la calidad de las mismas harán que esta transición sea aún más exigente; por tanto, su ritmo puede que resulte ser mucho más lento de lo que generalmente se supone. Al mismo tiempo, sólo una de las muchas fuentes de energía renovable ofrece un flujo que supere de largo cualquier necesidad previsible, por lo que el abanico de alternativas no es en absoluto todo lo prometedor que lo consideran los verdaderos creyentes [en estas energías].

Smil se refiere aquí a la energía solar como la única fuente capaz de satisfacer con creces cualquier necesidad previsible.

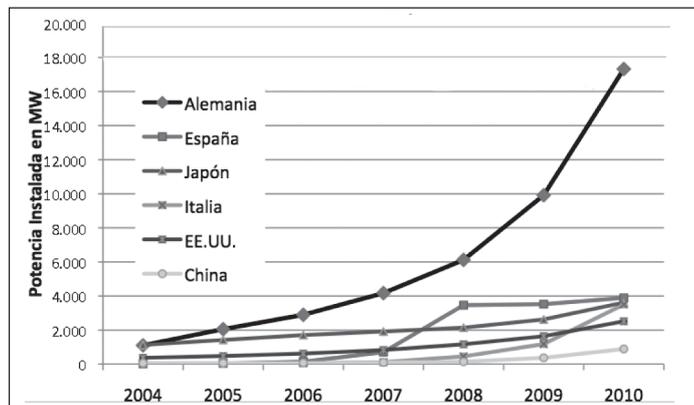
Una vez que los flujos de combustibles fósiles hacia la sociedad comienzan a disminuir (en realidad, el agotamiento de un recurso finito comienza desde el primer día de la explotación organizada y masiva del mismo; es el flujo que se aporta a la sociedad lo que sólo disminuye a partir de la llegada al cenit de su producción mundial), lamentable y presumiblemente entre una y dos décadas a partir de este momento, la humanidad empezará a perder, año tras año,

miento o bien por la necesidad de no envenenar y degradar más el planeta con estas combustiones, la lógica apunta a una inevitable disminución de la cantidad de energía fósil de la que ahora disponemos.

Es por todo ello por lo que se analizan aquí los méritos de la energía solar como la fuente energética más adecuada en el contexto de las proyecciones a largo plazo sobre la perentoria necesidad de reemplazar a los combustibles fósiles. En concreto se analizará la energía solar fotovoltaica, dado que España es posiblemente el mejor campo de pruebas de todo el mundo para este tipo de análisis, y ello por cuatro motivos.

En primer lugar, se trata del país más soleado de Europa y el segundo a escala mundial en potencia instalada, sólo por detrás de Alemania. En segundo lugar, se puede estudiar muy bien la energía generada a lo largo de todo 2009 (un ciclo anual completo), ya que ese año la irradiación anual fue excelente, y también porque a lo largo del mismo apenas se inauguraron nuevas instalaciones fotovoltaicas por razones económicas, financieras y políticas, algo que permite valorar con bastante precisión la energía generada en el conjunto de toda la nación (un cálculo mucho más difícil de efectuar cuando las estadísticas de producción y de potencia instalada van variando significativamente a lo largo del año medido, puesto que hay plantas que sólo generan durante una parte del año y eso desvirtúa los cálculos generales, al no haber estadísticas fiables sobre sus niveles de producción).

Figura 2
Potencia instalada en MW en los seis principales países
(Total mundial 39.778 MW en 2010)



Fuente: BP Statistical Yearbook 2011. Datos hasta 2010, tomados a su vez de IEA Photovoltaic Power Systems Programme, EPIA, EurObserver y SolarBuzz.

En tercer lugar, España ofrece la mejor, más completa y más fiable base de datos pública sobre instalaciones conectadas a red y energía generada, datos que proporciona regularmente la Comisión Nacional de Energía (CNE)² y que no se encuentran en ningún otro país avanzado en materia de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red. Ello permite analizar, como hasta ahora no se había podido hacer con ningún estudio previo, todo un universo estadístico sobre la rentabilidad, la eficiencia, el ciclo de vida o el retorno de la inversión energética de estos sistemas, que hasta el momento se habían circunscrito a muchos análisis, pero muy fragmentados, de tecnologías solares específicas en instalaciones muy limitadas en cuanto a potencia y situadas en latitudes seleccionadas de antemano y controladas básicamente por los analizadores, en muchos casos parte interesada de la industria fotovoltaica o invitados por ella. Asimismo, permite analizar los resultados en el mundo real, con la verdadera mezcla de tecnologías disponibles en un mercado abierto y muy competitivo y en todas las latitudes donde los inversores han considerado conveniente localizar sus instalaciones, se supone que en busca de la máxima eficiencia y rendimiento para sus inversiones.

Por último, otra gran ventaja para este tipo de energías en España es que cuentan con la experiencia consolidada de Red Eléctrica Española (REE) como uno de los reguladores de redes eléctricas con más experiencia del mundo en cuanto a la supervisión, planificación y gestión de la red a la hora de incorporar energías intermitentes, de generación de tipo estocástico, como la eólica (España también está entre los países pioneros del mundo y es el tercero a escala mundial en penetración de energía eólica en el total del *mix* eléctrico) o la solar, tanto fotovoltaica como termoeléctrica. REE ha tenido que experimentar, como ningún otro regulador y gestor de redes eléctricas, la introducción en la suya de energías de tipo intermitente, habida cuenta de que España funciona como una isla desde el punto de vista eléctrico, ya que intercambia con otros países menos del 3% de la energía eléctrica que produce y consume, y eso hace que sea más difícil salvar los problemas de estabilidad de red a base de liberar excedentes hacia otros países vecinos o adquirir de ellos déficits de generación eléctrica, como puede ser el caso de Dinamarca.

La importancia y la variabilidad de la energía neta

En todo estudio sobre fuentes de energía, la clave está en verificar si la fuente proporciona una energía neta que sea lo bastante superior a la energía que hay que gastar para obtenerla. Este concepto se basa en el ratio ER/EI (ER =

2. Comisión Nacional de Energía, «Información estadística de las ventas de energía del Régimen Especial», http://www.cne.es/cne/Publicaciones?id_nodo=143&accion=1&soloUltimo=si&slCat=10&keyword=&auditoria=F.

energía recuperada de un sistema o fuente de energía para su uso en sociedad, y $EI = \text{energía invertida para obtener la energía útil que queda a disposición de la sociedad}$). En inglés se denomina «Energy Return on Energy Invested» (EROEI), y en castellano «Tasa de Retorno Energético» o TRE (Prieto, 2006). Es algo que todos los seres vivos hacen de forma automática, ya que su propia existencia como individuos, y sobre todo como especie, depende de que el entorno les ofrezca más energía que la que tienen que gastar para sobrevivir; de lo contrario, si se trata de individuos morirían (es algo que se da con mucha frecuencia), y si se trata de algo que se convierte en estructural y no coyuntural para toda una especie, esa especie en cuestión se extinguiría.

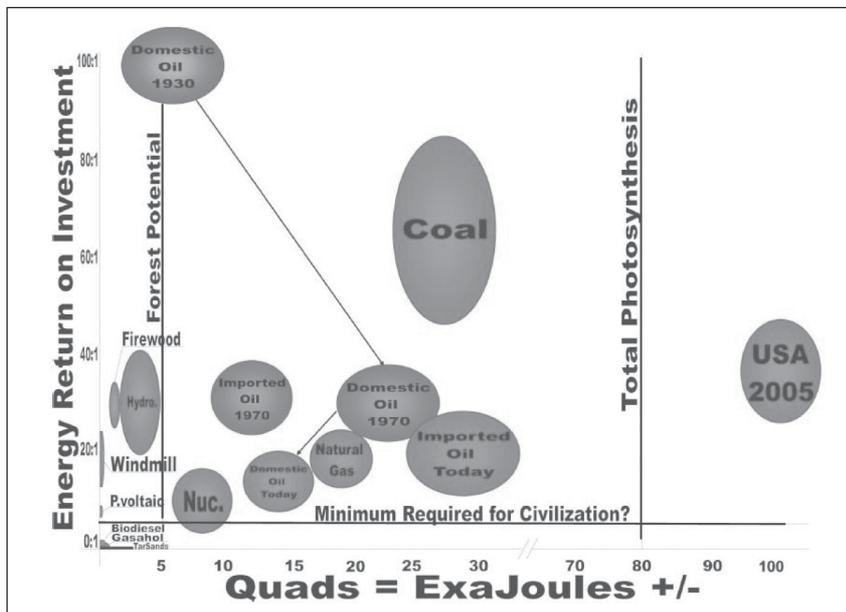
Que la biomasa ofreció la suficiente energía neta a las sociedades primitivas es tan obvio como que aquí, en la Tierra, millones de especies estamos viviendo de ella. Los niveles de excedente energético o de energía neta resultante en ciertos contextos sociales primitivos eran inferiores a los actuales, pero suficientes para garantizar la supervivencia de las especies (aunque no para desarrollar grandes transformaciones de la naturaleza con dichos excedentes energéticos). Algunos ejemplos puntuales de civilizaciones antiguas muestran a través de sus construcciones que, en ciertos períodos y con poblaciones limitadas, determinadas regiones ofrecían excedentes energéticos importantes; las pirámides y demás templos son muestras de este excedente de cierta cuantía para poblaciones entonces muy limitadas. Asimismo, disponemos de ejemplos de cómo algunas sociedades primitivas, que vivían exclusivamente de la energía de la biomasa, con niveles excedentarios suficientes, terminaron colapsando (Tainter, 1988; Diamond, 1995), precisamente al degradar su base energética (los recursos del entorno accesible) por un exceso de crecimiento y ver consecuentemente reducido su aporte neto de energía hasta el extremo de hacer inviable a esa sociedad.

Que, hasta ahora, los combustibles fósiles han sido capaces de permitir a la sociedad mundial un excedente energético sin precedentes es algo que, como la prueba del nueve, no necesita demostración. En los 150-200 años de desarrollo de la sociedad industrial, el mundo ha pasado de tener unos mil a siete mil millones de habitantes y los niveles de consumo individuales han aumentado por término medio de forma exponencial, sin precedentes en la historia, en cuanto a capacidad de transformación de la naturaleza, movilidad, variedad de actividades, etc.

Charles A. S. Hall, profesor de ciencias medioambientales de la Universidad del Estado de Nueva York en Syracuse, que lleva décadas estudiando los aspectos económicos de la biofísica y es un reconocido experto mundial en este tipo de estudios, ofreció una serie de resultados sobre la energía neta de

diferentes fuentes en su intervención en la Conferencia Internacional de ASPO celebrada en Barcelona en 2008 (Hall, 2008). Entre ellos destaca el famoso «Balloon Diagram» o «diagrama de globos» (figura 3), en el que se muestran algunos valores obtenidos por este científico sobre las principales fuentes de energía y las variaciones más importantes que se han dado con el paso del tiempo. El gráfico de dicha figura muestra la evolución que el petróleo estadounidense ha tenido hacia una TRE más baja, pasando de ofrecer tasas de 100 barriles a disposición de la sociedad por cada barril consumido en obtenerlos a unas tasas actuales de entre 10 y 20 barriles por cada uno consumido. Asimismo, resulta interesante comparar los niveles de la fotosíntesis total actual, situada en unos 80 Exajulios (EJ), con el nivel de consumo de Estados Unidos en 2005, que fue de unos 100 EJ; no ya los bosques, sino toda la fotosíntesis, sería insuficiente para alimentar energéticamente a ese país teniendo en cuenta de su nivel de consumo actual.

Figura 3
Diagrama de globos de Charles A. S. Hall sobre los niveles de la Tasa de Retorno Energético de las principales fuentes de energía. En el eje de abscisas, el potencial energético (los globos definen el volumen potencial de explotación). En el eje de ordenadas, la Tasa de Retorno Energético (TRE o EROEI).



Con todo, lo más interesante es que Charles A. S. Hall fija una Tasa de Retorno Energético mínima (de 5:1) para que se pueda dar una «civilización» (conceptos éstos que habría que desarrollar más allá del ámbito de este artículo). Es decir, si la TRE —vista en su promedio y globalidad— de un sistema social capta o llega a captar menos de 5 veces la energía que es capaz de poner a disposición de esa sociedad, seguramente esta última no se dará, no será sostenible en el tiempo.

El presente estudio se centrará en analizar la energía neta que los sistemas solares fotovoltaicos españoles ofrecieron en 2009 en su conjunto y operando en el mundo real, no en laboratorios. El estudio de la energía neta de cualquier nuevo sistema energético es algo importante y debería formar parte de un principio de precaución básico, porque cualquier nueva fuente de energía debe poder demostrar, antes de que se inviertan en ella grandes esfuerzos (no sólo económicos, sino sobre todo energéticos), que la energía que se va a invertir en su fabricación, instalación, mantenimiento y desmantelamiento constituye una pequeña fracción de la que va a poder dejar disponible como energía neta a la sociedad. Y también porque, si finalmente se constata que era un sumidero de energía en el balance total, no merecería la pena haber realizado tal esfuerzo, que sólo hubiese conducido a acelerar el agotamiento de las energías actualmente disponibles que sí tienen una TRE suficientemente alta.

Metodología

Los numerosos estudios al uso publicados sobre sistemas fotovoltaicos en general utilizan dos formas clásicas para medir estas tasas de retorno energético y sus eficiencias en general.

La TRE o EROEI

Una de ellas es analizar la Tasa de Retorno Energético o TRE (*Energy Return on Energy Invested* o EROEI) en forma de los llamados «análisis de ciclo de vida» o ACV (*Life Cycle Analysis* o LCA, en sus siglas en inglés), en que, por un lado, se calcula la generación a lo largo de lo que se estima que va a ser la vida útil de los sistemas (ésta es la energía recuperada) y, por otro, se calculan los costes energéticos que conllevan la manufactura de estos sistemas, su instalación y puesta en marcha, y su mantenimiento (ésta es la que se considera energía invertida). Del cociente entre ambas resulta un EROEI o TRE.

Esta parte de la energía invertida resulta especialmente compleja, porque depende mucho de los enfoques que se den al coste energético del ciclo com-

pleto. Se podrían retrotraer al coste energético de la minería de los sofisticados y a veces raros materiales que integran los módulos fotovoltaicos, o incluir la energía que hay que gastar en los cimientos de una planta o en su vallado perimetral.

El Tiempo de Recuperación de la Inversión Energética (TRIE) o Energy Pay-Back Time (EPBT)

Otra forma de abordar el mismo asunto es analizar el tiempo que se necesita para recuperar la inversión energética realizada en un sistema que genera una cierta cantidad de energía. Es una función muy directa del EROEI o TRE; se trata de la fórmula preferida por bastantes analistas, aunque el TRIE (EPBT) se puede derivar directamente de la TRE (EROEI) y viceversa.

Por ejemplo, dada una producción acordada X en un plazo acordado de vida útil operativa de generalmente 25 años (aunque hay analistas que empiezan a asegurar que los sistemas fotovoltaicos pueden llegar a tener un funcionamiento operativo de 30 años), si el coste de la energía que se ha invertido en ese sistema bajo todos los conceptos incluidos en esa vida útil es de, por ejemplo, $0,1 * X$, entonces la TRE (EROEI) sería de 10 y el TRIE (EPBT) sería cada año de $X/25 = 0,04 * X$ (ello suponiendo, por simplificar, que en cada uno de los 25 años de vida útil se genera lo mismo). Así pues, para que el sistema pueda generar toda la energía que se ha calculado que se va a invertir en dicho sistema a lo largo de los 25 años ($0,1 * X$), se tardarían 2,5 años, con lo que su TRIE (EPBT) sería de 2,5 años. A partir de ahí, los analistas le suponen al sistema una ganancia energética neta.

En un artículo titulado «Energy Pay-Back of Roof Mounted Photovoltaic Cells», escrito por Colin Bankier y Steven Gale y publicado por la revista *Energy Bulletin* (Bankier y Gale, 2006), se observa que, según la mayoría de los expertos en el ciclo de vida de estos sistemas y en sus Tiempos de Recuperación de la Inversión Energética (TRIE o EPBT), éstos son muy cortos, de entre 0,7 años en los sistemas de alta concentración fotovoltaica (Peharz y Dimroth, 2005) y 5,1 años en un sistema de silicio monocristalino, incluyendo en ello el llamado «Balance of System» —una suerte de «todo lo demás»— aparte del módulo fotovoltaico (Raugei, Bargigli y Ulgiati, 2005). La mayoría de estos estudios se centran en una tecnología específica, en la que predominan los análisis de sistemas fijos individuales de pequeña potencia.

Por otro lado, algunos estudios llevados a cabo entre los años 2000 y 2003 sobre los sistemas de película delgada (Alsema, 2000 o Knapp y Jester, 2001) ya predecían recuperaciones de la inversión energética en 2 o 2,5 años, por lo que no se entiende muy bien por qué diez años después los sistemas de pe-

lícula delgada siguen sin despegar en los mercados si tienen un TREI o EPBT tan tremendamente corto. Lejos de desanimarse, estos mismos grandes expertos y otros han vuelto a la carga con que los nuevos desarrollos de sistemas de alta concentración o los nuevos desarrollos de película delgada pueden alcanzar una TRE (EROEI) de hasta 40; es decir: para una vida útil de 25 años, una recuperación aproximada de la inversión energética en unos 7,5 meses.

Este artículo tiene por objeto, precisamente, prevenir contra este tipo de estudios, abrir un debate sobre la conveniencia de homogeneizar los procedimientos para medir las TRE y los TRIE antes de lanzarse a un despliegue masivo apoyado en cuantiosas primas y subsidios dinerarios, los cuales se supone, según la economía clásica (basada en la creencia de que cuanto mayor es la producción menor es el coste —económico y energético— y de que el aumento de la eficiencia no tiene fin, ni siquiera analizada desde un punto de vista holístico), que en algún momento ya no serán necesarios, porque se alcanzará la paridad con la red en cuanto a costes económicos. También tiene por objeto verificar que los *inputs* energéticos requeridos para poner en marcha y mantener estos sistemas son todos ellos los que realmente se requieren y que no quedan costes energéticos ocultos en la compleja maraña de una sociedad que consume energía fósil y que depende eminentemente de ella, y en la que estos sistemas siguen, todavía hoy, totalmente apuntalados por dicha energía.

Equivalencias económico-energéticas y equivalencias entre mano de obra y energía

No suele haber gran discusión sobre la energía que un sistema, sobre todo si es de tipo eléctrico, genera en un período de tiempo dado o a lo largo de su vida útil, porque los contadores eléctricos funcionan con suficiente precisión. Las únicas discrepancias que pueden surgir son las relativas a las degradaciones de la producción de un sistema a lo largo del tiempo. En otras ocasiones, puede haber alguna discrepancia sobre las pérdidas que ese sistema de generación puede sufrir antes de quedar completamente amortizado y de que sea capaz, a partir de ahí, de entregar energía de forma neta a la sociedad, o sobre la credibilidad que puede tener el estimar una vida útil a tan largo plazo como la que se considera que tienen equipos que necesariamente deben estar a la intemperie durante toda su vida útil. También las diferentes calidades de los procesos de mantenimiento pueden crear alguna que otra dificultad de medición.

Sin embargo, en sociedades complejas como la española o la de los países desarrollados, uno de los problemas más comunes, a la hora de calcular la energía que hay que invertir para poner en marcha un sistema de generación y tenerlo bien mantenido, es el de valorar, desde el punto de vista energético, los múltiples factores que están estrechamente interrelacionados con estos

sistemas. La mayoría de los datos disponibles se ofrecen en unidades dinerarias, en valores económicos, mientras que otros costes energéticos asociados a fabricar, instalar y mantener un sistema de generación se ofrecen en esfuerzo laboral, en mano de obra, más o menos cualificada. En este sentido, ni siquiera grandes expertos en el estudio de la ecología de los ecosistemas y en la valoración de sus contenidos energéticos, como Howard T. Odum —un zoólogo de reconocido prestigio internacional, que publicó trabajos pioneros y de gran valor sobre economía, ingeniería ecológica o modelización de sistemas ecológicos—, han podido escapar a la realización de equivalencias energético-dinerarias. Odum no se dejaba engañar fácilmente por la (muchas veces inasible) variabilidad del valor monetario, a lo largo del tiempo, en relación con los bienes físicos y sus contenidos energéticos. Uno de sus últimos estudios sobre un sistema fotovoltaico en Austin, realizado en su etapa final, incluía estas equivalencias. No le dio tiempo a más.

Aquí, en el campo de las modernas energías renovables en general y de la energía solar fotovoltaica en particular, las metodologías más comúnmente utilizadas difieren o pueden diferir considerablemente, aunque se puede observar una tendencia a simplificar y a reducir al máximo estas equivalencias. Se abren así varias posibilidades que explorar.

Un método que podría parecer lógico para valorar un equivalente energético-dinerario de los costes energéticos que han permitido y permiten la construcción y operación de plantas fotovoltaicas, sería tomar una muestra lo suficientemente amplia (por ejemplo, el caso de España). Cuando sólo se conozcan los costes económicos —no los energéticos— de una determinada actividad, se procederá a relacionar el PIB nacional español respecto de la energía primaria consumida en España y se establecerá la proporción adecuada. Se utilizarán los PIB de 2008 y 2009, porque se supone que los principales esfuerzos de dichos años dieron lugar a la base instalada de los años 2009 y 2010, respectivamente.

El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio ofrece la relación Tpe/millón de euros de PIB en bases anuales. Para 2008 fue de 170,94 Tpe/millón de euros (PPP 2000).³ Teniendo en cuenta que 1 Tpe = 12 MWh, esto supone para 2008 la cantidad de 2.051 MWh/millón de euros de PIB. En 2009 la relación del Ministerio fue de 162,38 Tpe/millón de euros (PPP 2000), con lo que el resultado para 2010 es de 1.949 MWh/millón de euros de PIB. Al actualizar el PIB a valores de 2008 y 2009, se obtiene un valor promedio de 1.475 MWh/millón de euros de PIB.⁴

3. Ministerio de Industria, Turismo y Energía, «La energía en España 2008», p. 39.

4. «GDP at current market prices», http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php?title=File:GDP_at_current_market_prices.png&filetimestamp=20110126161716.

Otra forma de analizar el coste energético en relación con el coste económico podría ser cuantificar el total generado en las plantas fotovoltaicas en 2009 y 2010 respecto de la energía generada. En este caso tendríamos:

	Energía generada a nivel de contador de baja tensión en GWh	Energía entregada efectivamente a la red en GWh	Energía pagada en millones de euros	MWh por millón de euros facturado
2009	6.042	4.828	2.842	1.698,8
2010	7.079	5.656	2.879	1.964,6
2009-2010	6.561	5.242	2.861	1.831,7

Una posible razón de esta diferencia entre las siempre difícilmente escrutable relaciones económico-energéticas —en la industria solar fotovoltaica es un 20% superior que el resto de las actividades económicas realizadas en España— es que este sector es más intensivo en uso energético que el promedio de las actividades. Por ejemplo, en Estados Unidos el promedio de energía es de 8,5 millones de MJ por dólar (o 2.701 MWh/millón de euros a un cambio de 1,44 dólares/euro). Sin embargo, la industria pesada consume unos 14 MJ por dólar según A. S. Herendeen, lo cual constituye un 64% más que la media, mientras que actividades como la exploración y extracción de petróleo utilizan unos 20 MJ/dólar (Hall, Gagnon y Brinker, 2009), que representan un 235% más. Aquí utilizaremos una medida conservadora de un 17% por encima del promedio nacional y de un 6% sobre el propio sector fotovoltaico, y consideraremos que la relación entre energía y economía es de 1.725 MWh/millón de euros de PIB.

[1]: 1 millón de euros de actividad económica \leftrightarrow 1.725 MWh (2008)

Respecto de la relación entre coste energético de la mano de obra que se calcula, algunos estudios consideran el coste energético de la mano de obra incorporada en los sistemas fotovoltaicos partiendo, por ejemplo, de la energía metabólica de un ser humano, lo que es manifiestamente insuficiente, ya que estos trabajadores no consumen en su quehacer la energía de un hombre primitivo. En este tipo de equivalencia *mano de obra-energía que representa*, parece mucho más razonable atender a la siguiente premisa: si España tuvo en 2008 un consumo energético total de 142,07 Tpe de energía primaria (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio) y contaba ese año con 46.063.511 habitantes (de los que 19.857.000 eran trabajadores «ocupados», es decir, activos, descontando a los parados), puede atribuirse a cada trabajador español activo un consumo medio de 7,15 Tpe al año, que, obviamente, consumen tanto él como el entorno que hace posibles su trabajo y su vida.

80

Volviendo a las unidades de medida eléctricas equivalentes, si 1 Tpe = 12 MWh tenemos que

[2]: 1 trabajador ocupado en España \leftrightarrow 86 MWh (2008)

Factores a considerar en la energía generada o recuperada de un sistema (Eout)

Estos factores están bastante bien tabulados; existe un consenso bastante amplio acerca de las pérdidas que se pueden dar en un sistema partiendo de la energía que nominalmente genera, y vienen a ser los siguientes:

Cuadro 1
Pérdidas típicas en la Performance Ratio o Tasa de Rendimiento de una planta fotovoltaica sobre suelo para inyección en red

Pérdidas típicas de energía consideradas en una tabla típica de la Tasa de Rendimiento (Performance Ratio o PR)	Factor de pérdida en %
Desajustes entre módulos	0,6 -1,0
Polvo	2,0- 8,0
Pérdidas angulares y espectrales	1,0
Incumplimiento de la potencia mínima	0,5
Pérdidas debidas a la temperatura	4,5-8,0
Sombreados	0,5-3,0
Punto de seguimiento de máxima potencia (MPPT)	0,8-1,5
Pérdidas de cableado en continua	1,0
Pérdidas del inversor en conversión AC/DC	5,0 - 7,4
Pérdidas de cableado en alterna (dentro de la planta FV)	0,4 - 1,0
Pérdidas en media tensión (dentro de la planta FV)	0,2- 2,1
Huecos de tensión, sobretensiones, microcortes, etc.	0,2 -1,0
Performance Ratio	84-65

En sus relaciones contractuales con fabricantes y promotores en España, el mundo comercial y financiero aceptaba en 2008, y sin problema alguno, sistemas fotovoltaicos completos con una Tasa de Rendimiento (Performance Ratio) del orden de un 80%, y en el mundo real se están viendo muchas instalaciones con tasas de rendimiento aún menores. Es decir, que desde la potencia nominal supuestamente instalada en placas hasta la salida de la planta fotovoltaica, hay una pérdida reconocida de la energía estimada de aproximadamente un 20% respecto de lo que, en una latitud precisa y con

una irradiación conocida, se podría generar en un año. Claro que esto, como se ve por los factores implicados, puede estar sujeto a oscilaciones hacia un menor rendimiento más que hacia uno mayor. Una Tasa de Rendimiento (TR) muy aceptable para un promotor fotovoltaico podría estar en torno al 82%. Sin embargo, un mal mantenimiento o una construcción deficiente con cableados de baja calidad, conexiones mal hechas o no repasadas periódicamente, distribuciones largas, falta de limpieza o una ubicación en un lugar muy polvoriento, pueden dar lugar a tasas de rendimiento, en virtud de los conceptos antes mencionados, bastante inferiores al 75%.

De todas formas, el caso particular de España permite obviar estos factores y extraer la energía fotovoltaica realmente generada en todo un ciclo anual (año 2009), sin ningún género de dudas, de la ya considerable potencia instalada media en todo 2009 (3.554 MW nominales, o MWn), que, según los datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE),⁵ fue de 6.042 GWh. Por tanto, se puede decir, atendiendo a un muestrario de instalaciones que hasta el momento no había sido tan amplio en ningún estudio realizado en país alguno del mundo, que

[3]: 3.554 MWn generaron 6.042 GWh (2009)

Algo que también se podría decir de la siguiente forma:

[4]: La energía fotovoltaica generó
1.700 MWh por MWn instalado (2009)

Esto es lo que la CNE verificó realmente que se había generado en el conjunto de los contadores de baja tensión de las más de 52.000 instalaciones fotovoltaicas individuales ubicadas en todas las latitudes posibles de España, por la libre decisión de los promotores, ejercida en el mundo real, con todas las tecnologías fotovoltaicas y todos los sistemas de seguimiento reales, las más actualizadas del momento, y que los promotores pudieron adquirir en un mercado libre, siempre pensando en los mejores rendimientos (en este caso generalmente económicos, pero al ser la facturación proporcional a la generación, con un interés bastante obvio en que el ratio entre inversión y ganancia por generación fuese el mínimo posible). Este dato resume mejor que cualquier otro la experiencia real de 52.000 instalaciones fotovoltaicas.

Sin embargo, si se analiza con mayor detalle, se pueden apreciar otras pérdidas que los sistemas convencionales de análisis de la Tasa de Rendimiento

5. Véase la información estadística de ventas de energía en régimen especial de la CNE.

no suelen contabilizar, y que por tanto no llegan a entrar en la red y no quedan al servicio de la sociedad. Son las siguientes:

Cuadro 2
Pérdidas típicas de una planta fotovoltaica sobre suelo
y para inyección en red, más allá de los contadores de baja tensión
y previas a la entrega de energía neta a la sociedad

Producción de energía eléctrica solar fotovoltaica medida por la CNE en MWh/año/MWn (incluye todos los factores de la PR)	1.700
Otras pérdidas típicas de energía más allá de los PR convencionales (factores ampliados del PR)	
Considerando la potencia pico instalada respecto de la nominal	1.574
Considerando las pérdidas en la línea de evacuación/puntos de acceso y conexión/transformadores	1.543
Considerando la degradación de los módulos a lo largo del tiempo según las especificaciones más habituales de los fabricantes	1.367

En primer lugar, los datos que publica la CNE están basados en las potencias nominales de las instalaciones fotovoltaicas. Como bien se sabe, la inmensa mayoría de las instalaciones, especialmente las grandes, han instalado potencias pico mucho mayores que las potencias nominales adjudicadas (generalmente plantas de 100 kW, el máximo legal para adquirir la tarifa más privilegiada, aunque luego estuviesen agrupadas físicamente en plantas de mayor capacidad). La razón era precisamente que lo que se pensaba que iba a medirse como garantía de cumplimiento de la potencia era la que se obtenía a la salida del inversor. Así, se han instalado muchas plantas de 100 kW nominales (kWn) con hasta 130 kW pico (kWp), que, a efectos de analizar la energía neta que puede proporcionar un sistema fotovoltaico, son los que hay que tener en cuenta. Aquí se considerará que el promedio nacional instalado es de 108 kWp por cada 100 kWn contabilizados por la CNE.

En segundo lugar, existen más pérdidas a la salida de las plantas fotovoltaicas, antes de que la energía generada pueda entrar en la red y ser puesta al servicio de la sociedad. Por regla general, la CNE mide la energía en los contadores de baja tensión (después de los inversores y antes de subir esas tensiones de los 400 VAC a los 13-15-20 kV de media tensión). Según la propia normativa aceptada, los descuentos que pueden aplicar las distribuidoras a los productores en régimen especial —por las pérdidas en el tramo entre los contadores de baja tensión y el de media tensión— son de hasta un 3%. Además, están las pérdidas de las líneas de evacuación, ya en media tensión,

hechas específicamente para conectar las plantas a la red existente. Aquí se adoptará un criterio conservador de un 2% de pérdidas.

Por último, si se calcula que la vida útil es de 25 años, hay que incorporar la menor generación (una suerte de pérdida evidente sobre la potencia pico especificada por el fabricante) por la degradación de los módulos con el paso del tiempo. Ésta suele ser, para casi todos los módulos, de un 20% en los primeros 20 años. Aquí se considerará un factor de 0,886 a 25 años promediado por año.

El resultado final es que, en el año 2009, la energía que entregaron realmente a la red española el conjunto de las instalaciones fotovoltaicas, con todas las tecnologías y en todas las latitudes, fue de 1.367 kWh/kWp. Esta cifra resulta ser bastante inferior a la mayoría de las estimaciones teóricas que se han hecho en prácticamente todos los estudios de TRE/EROEI o bien de TRIE/EPBT, así como a las estimaciones que realizan la mayoría de los productores y promotores en sus cálculos (sobre todo teniendo en cuenta que el parque español instalado contiene una importante cantidad de sistemas con seguidores a dos ejes y a un eje, cuya generación estimada se supone mucho mayor que la finalmente resultante en las estadísticas públicas de la CNE).

Se debe reconocer que hay instalaciones que se han emplazado en lugares de no muy elevada irradiación, pero éstos son los datos a contrastar, los que existen en la sociedad, mejor que los de laboratorio o los que se realizan en modo de pruebas controladas por los fabricantes, ya que la muestra es toda la energía fotovoltaica española conectada a red, en un ciclo anual completo y no sobre tiempos muy concretos y muestras muy específicas; es mucho más real que la de los laboratorios, porque, al fin y al cabo, son los promotores los que deciden las ubicaciones. Sobre este aspecto y como ejemplo de situaciones de la vida real, conviene considerar que Alemania generó en 2010 un total de 12.000 GWh con origen solar fotovoltaico.⁶ Pero su base instalada fluctuó entre los 9,9 GW a finales de 2009 y los 16,9 GW a finales de 2010 de potencia instalada. Esto puede dar un promedio aproximado para el año 2010 de unos 13,4 GW de potencia instalada. Dado que España generó 7.079 GWh con apenas 4 GW de potencia instalada de promedio en 2010, esto supone que Alemania generó en promedio, la mitad que España para una potencia instalada equivalente.

6. <http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/AEE-Strommix-Deutschland-2010-en-aug11.jpg>.

Con respecto a los parámetros de pérdidas consideradas en el cuadro 2, obviamente, a los promotores y productores no les interesan las pérdidas más allá del punto donde se toman las medidas (contadores de baja) para su propia facturación, pero sí deben ser analizadas por todo estudio serio sobre la energía neta que los sistemas fotovoltaicos entregan a la red (a la sociedad, en definitiva). Por tanto, tenemos que:

[5]: Energía solar FV útil generada en España (2009):
1.367 kWh/kWp instalada

Habida cuenta de que en 2009 en España había un 63% de plantas fotovoltaicas fijas, un 13% de plantas con seguidores a un eje y un 24% de plantas con seguidores a dos ejes, la realidad final de la energía *net*a de origen fotovoltaico entregada de forma útil a la sociedad ha estado por debajo de los niveles barajados en las teorías al uso, cuyos autores siempre suponen los lugares más soleados del país, cuando, en la realidad, las instalaciones no siempre se ubican en los lugares más apropiados para la irradiación solar, sino a veces donde dictan el capricho, el interés regional o la oportunidad.

Factores a considerar de la energía invertida para que un sistema energético entregue la energía esperada (Ein o Energía Invertida)

La energía invertida para concebir, diseñar, fabricar, transportar, instalar, mantener e incluso desmontar finalmente un sistema fotovoltaico es mucho más compleja, pero también España goza de un gran acervo para poder realizar estimaciones que hasta ahora no se venían haciendo o quedaban circunscritas a análisis de la energía invertida en los módulos fotovoltaicos y de sus contenidos inmediatos, con una simple extensión de los valores energéticos, en algún caso, a lo que llaman «Balance of System», que solían incluir apenas algunas estructuras metálicas, cimientos, cableado, inversores y poco más.

En este estudio se han considerado factores energéticos de tipo social, es decir, factores generalmente ignorados en los estudios convencionales de TRIE (EPBT). En estos, como se ha comentado, se suele considerar el coste energético del silicio, de convertir este silicio en los lingotes purificados y las obleas, de fabricar las células con sus dopantes y serigrafías, el laminado, el montaje y cableado del módulo y, por ejemplo, el inversor y cierto coste supuesto de reciclaje (Raugei, 2009). En este caso, veremos el asunto de forma más «holística» o general, de más amplio espectro, intentando incluir costes energéticos que suelen permanecer ocultos, y sin los cuales —y sin la sociedad actual, con sus costes energéticos y su forma de actuar— los sistemas fotovoltaicos no serían posibles.

Los analistas convencionales suelen huir de esta aproximación, porque consideran que cae fuera del ámbito de sus intereses, y otros consideran que si la energía social de algunas actividades relacionadas indirectamente con el sector fotovoltaico no se invirtiese en este sector, se consumiría igualmente en otra actividad. Esto no parece racional, en una visión general que pretenda analizar la energía solar fotovoltaica desde el punto de vista del papel que se le supone que debe tener en el futuro como fuente energética masiva y alternativa a las energías fósiles en cuanto a volumen y versatilidad. Estos analistas convencionales suelen denominar a este tipo de consideraciones acerca de los costes energéticos adicionales «Extended EROEI» (esto es, una «TRE ampliada»). Precisamente de eso se trata. Dicen que incluyen «wider boundaries» (áreas de costes energéticos indirectos más extendidos). Precisamente de eso se trata.

Una lista de las actividades que suponen un gasto energético en el proceso de poner en funcionamiento los sistemas fotovoltaicos y mantenerlos a lo largo del tiempo, es la siguiente:

Cuadro 3
Factores de coste energético en la actividad solar fotovoltaica en España para instalaciones sobre suelo y de inyección en red

Costes energéticos derivados de actividades típicas de un sistema fotovoltaico
Coste energético de fabricar e instalar módulos, inversores, seguidores e infraestructuras metálicas (mano de obra excluida).
Costes energéticos de las tareas de operación y mantenimiento.
Coste energético de construir accesos, cimientos, canalizaciones, vallados perimetrales, etc.
Costes energéticos del transporte, desde el fabricante local hasta desde China.
Costes energéticos de red de media y alta tensión. Reestructuración y estabilización de red.
Coste energético de la seguridad y vigilancia.
Coste energético de comunicaciones, control remoto y gestión de planta.
Coste energético de renovar módulos, inversores, seguidores o componentes defectuosos.
Coste energético del lavado de módulos.
Coste energético de ferias, exposiciones, promociones, conferencias, etc.
Costes energéticos asociados a mano de obra circunstancial: consultores, notarios, registro, colegios de ingenieros, funcionarios asignados al sector, etc.
Autoconsumo de las plantas fotovoltaicas.
Coste energético del alquiler o compra del terreno.
Coste energético de los derechos de paso.
Costes energéticos de la preinscripción, los avales, etc.
Costes energéticos asociados a la inyección de cargas intermitentes en una red necesariamente estable.

Costes energéticos del bombeo inverso y otros sistemas de almacenamiento masivo (aire o gas presurizado) exigibles como «potencia firme de respaldo».
Costes energéticos asociados de estabilización actual (ciclos combinados).
Coste energético de los seguros de las plantas fotovoltaicas.
Costes energéticos de la administración de plantas fotovoltaicas.
Coste energético del robo de equipos y vandalismo.
Costes energéticos de causas de fuerza mayor (tormentas, vendavales, inundaciones, granizo, etc.).
Costes energéticos autonómicos y municipales por tasas e impuestos sobre licencias y permisos.
Coste energético de amortizaciones prematuras de equipos de fabricación y otros equipos por obsolescencia acelerada.
Costes energéticos de los desmantelamientos al final del ciclo de vida o del desguace de las plantas fotovoltaicas.
Costes energéticos de impuestos a la producción o de agentes representantes para la venta de energía de forma obligatoria.
Total de energía invertida.

Todo el que haya trabajado en el sector deberá reconocer que todas estas actividades son *imprescindibles* para que las plantas puedan instalarse y funcionar en nuestra sociedad, y que todas ellas, como cualquier actividad humana, implican un cierto consumo energético. Luego se podrá discrepar sobre si cada una de ellas tiene un contenido energético de mayor o menor envergadura; se podrá argüir que muchas de ellas son insignificantes o despreciables desde el punto de vista energético; se podrá sugerir que algunas de ellas se podrían reducir considerablemente o incluso eliminar, desde un punto de vista legal, administrativo o de mejora de eficiencia. Pero, en cualquier caso, los que trabajan en el sector son muy conscientes de los tiempos, los esfuerzos y el coste (al menos económico) que todas y cada una de ellas suponen.

En el caso de algunas de ellas es posible hacer cálculos directamente energéticos, como, por ejemplo, el coste energético de todo el ciclo del transporte para todos los MW instalados en España; o el coste energético de construir los accesos a las plantas, las cimentaciones, las canalizaciones o los vallados perimetrales, o el autoconsumo de las plantas (mucho menor en las plantas fijas que en las que llevan seguidores, y del que habría que restar el que ya se descuenta por ley en los contadores digitales de baja tensión bidireccionales). En otras, existe una constancia bastante precisa de los costes económicos en los que se incurre al llevar a cabo estas actividades. Una forma que parece

razonable de realizar el cálculo del coste energético es utilizar las *equivalencias económico-energéticas* [1] arriba detalladas, que aquí se consideran conservadoras, porque aplican un baremo o promedio nacional, cuando en realidad el sector fotovoltaico está, presumiblemente, por encima de la media en intensidad de consumo energético por millón de euros de actividad.

Además, está el consumo energético de la mano de obra del sector fotovoltaico. En este campo, los defensores de las energías renovables en general y de la fotovoltaica en particular en su defensa del *business as usual* y en su honorable defensa del empleo, caen en una trampa particularmente curiosa.

En su afán por mostrar la utilidad de los sistemas FV, les puede el prurito de anunciar con orgullo que el sector fotovoltaico es el que más empleo crea por MW instalado (y, por ende, por GWh producido). Así, una de las asociaciones nacionales más grandes del sector, la Asociación Empresarial Fotovoltaica (2010), llega a decir que...

El sector fotovoltaico es el más intensivo entre las energías limpias en *la creación de puestos de trabajo: entre 7 y 11 empleos por megavatio instalado*, frente a un máximo de 2,7 empleos por megavatio en otros sectores [*la cursiva es mía*].

... sin percatarse de que esto tiene necesariamente un coste energético relevante en este capítulo. En ese momento, estas asociaciones no estaban seguramente pensando en la TRE o EROEI, aunque de sus últimas presentaciones se deduce que hay un creciente y sano interés en el asunto de la energía neta y una preocupación por mostrar tasas de recuperación energética que a veces casan mal con todo este despliegue.

Además, y por si fuera poco, tanto esta asociación como la otra grande del sector, ASIF, se vanaglorian en sus presentaciones de los empleos creados para un cierto nivel de actividad fotovoltaica. Las cifras que el sector maneja, según la fuente y el momento político, oscilan entre los 24.500 y los 41.700 empleos (que incluyen directos e indirectos), pero el promedio bien podría fijarse, en el año pico de la producción e instalación nacional (2008), en unos 23.000 empleos directos o a tiempo completo. Esto sólo en cuanto a la mano de obra española, y hay que considerar que una parte sustancial de los equipos instalados en España ha provenido de la importación (muy superior a la propia exportación española), sobre lo cual hay abundante documentación. Así pues, a esa mano de obra española, una vez descontada la relación exportación/importación, hay que sumarle la mano de obra extranjera, cuyo coste energético va incorporado en los equipos instalados y que operan en España.

Aun sin utilizar, como debería haberse hecho, las elevadas estimaciones del propio sector sobre los empleos y rebajando la cifra a 1-2 empleos fijos por MW instalado, el coste energético del empleo, cuando se aplica el baremo arriba detallado de *equivalencias entre mano de obra y energía* [2], constituye una parte apreciable de la energía que generan los sistemas que esta fuerza de trabajo mantiene. En concreto, y repercutidos por año, entre un 4% y un 8% de la energía que generaron las plantas en 2009, según se efectúen los cálculos. Evidentemente, estos datos hay que tratarlos con las cautelas necesarias y no realizar una suma aritmética simple sobre los costes energéticos del cuadro 3, porque en una visión holística hay funciones que se entremezclan entre mano de obra y otros costes energéticos entendidos en su sentido amplio y completo.

Finalmente, existe otro gasto energético, el más difícil de calcular pero en modo alguno despreciable, y es el que se refiere a los costes financieros de poner en marcha estos sistemas.

No queda más remedio, en este caso, que recurrir a las *equivalencias económico-energéticas* [1], porque, aunque algunos insistan en negarlo, el coste financiero de una operación, ya sea para financiar una fábrica de producción de módulos, inversores o seguidores para plantas fotovoltaicas, o bien para la financiación del constructor, la de financiación del promotor o incluso la financiación del comprador final, ya que todos estos actores multiplican el costo en una extendida y compleja «cadena de valor» tienen necesariamente que tener una equivalencia con el mundo físico y por tanto, energética. Si el dinero tiene que tener alguna correspondencia con el mundo físico y éste se construye necesariamente con energía, que es el requisito previo e imprescindible para la existencia de todo bien o la prestación de todo servicio mensurable, el dinero tiene que representar un cierto nivel de consumo de energía.

Efectivamente, en esta otra aproximación, utilizando los precios de mercado de estas plantas hasta finales de 2008 y analizando todas las plantas instaladas en 2009 en sus distintas variedades (plantas fijas, con seguidores a uno y dos ejes), se verifica una inversión inicial, para su instalación y puesta a punto, de unos 19.000 millones de euros. Si éste es el capital necesario para poner en marcha unos 3.780 MWp y se acepta que son plantas que durarán 25 años, la repercusión anual de dicho capital sería de unos 760 millones de euros al año. Añadiendo a ello el capital necesario para operar y mantener las instalaciones, pagar los seguros, la seguridad y la administración, los impuestos, etc., se alcanza una cifra total de capital (inversión más circulante, pero sin intereses) de unos 1.200 millones de euros/año exigibles para esa potencia instalada. Se trata de una cifra que se aproxima bastante a la que resulta de utilizar las *equivalencias económico-energéticas* [1] para las actividades del cuadro 3.

Conclusiones

1. Este artículo no permite detallar los análisis de cada uno de estos factores en profundidad, que se va a ofrecer en breve en un libro sobre el tema (Prieto y Hall, en prensa), pero la conclusión final es que, una vez conocido con bastante precisión el Eout o energía suministrada por todas las plantas fotovoltaicas de España en 2009 y dividiendo este flujo de energía por la que resulta de analizar *in extenso* los inputs energéticos desde un punto de vista más completo y ampliado, se obtiene una TRIE final para los años 2009 y 2010—a partir de una muestra ya muy significativa de unos 4.335 MWp en todas las latitudes y por parte de todos los sistemas que el libre mercado ha permitido (no a partir de ejemplos específicos de laboratorio o de plantas individuales, seleccionadas a voluntad por los analistas convencionales)— de *alrededor de 2*, con un cierto rango de incertidumbre, según los análisis de sensibilidad:

Tasa de Retorno Energético (TRIE)
para la energía fotovoltaica en España (2009):
 $2,6 > \text{TRIE} > 1,3$

2. Es curioso observar que esta TRIE, mucho más baja de lo que los analistas convencionales suelen publicar, puede variar con algunos estudios de sensibilidad:
 - a. El factor más analizado por los expertos, que es el primero de los que figuran en el cuadro 3 (el coste energético de fabricar e instalar módulos, inversores, seguidores e infraestructuras metálicas), incluso variando el EPBT de este factor de 8 años a los 2 años que ahora prometen (aunque llevan prometiéndolo desde el año 2000), apenas varía en unas décimas la TRIE total, considerada de forma holística.

La razón de ello son las esperanzas de los defensores del sector de que se produzca una importante reducción de los costes y grandes mejoras tecnológicas en la eficiencia de conversión. Pero según este estudio, los componentes básicos del módulo fotovoltaico representan apenas un 20-25% del coste energético, visto desde esta perspectiva energética *social*. De hecho, el coste energético de las partes que componen la célula, desde su origen en forma de silicio sin depurar hasta que se incorpora al módulo fotovoltaico ensamblada y soldada, es aproximadamente un 60% del total del coste energético del módulo, según varios autores de estudios convencionales sobre Análisis de Ciclo de Vida fotovoltaicos.

Así, por ejemplo, una reducción de los costes a la mitad de los actuales por vatio pico, como últimamente algunos fabricantes de película

delgada afirman haber alcanzado, no representaría un cambio de paradigma sustancial en el proceso, incluso aunque estos sistemas de película delgada tuviesen la misma eficiencia energética que los actuales sistemas mono/policristalinos, lo que, por otra parte, a día de hoy dista de ser el caso.

Por el otro lado, por el del aumento de la eficiencia, observamos que los fabricantes que anuncian y venden sistemas con un 17% de eficiencia en la conversión energética fotónica/eléctrica, frente a los que ofrecen módulos con un 14-15% de eficiencia, fijan unos precios para estos sistemas aproximadamente un 30% superiores a los que tienen un rendimiento ligeramente inferior. Si hay que realizar una inferencia razonable entre energía y valor económico, por ese camino, por el momento, no se llega muy lejos.

Las células de rendimiento óptimo en laboratorio, de la nueva generación que no es de silicio (la llamada 3.5) que alcanzan hasta un 40% de eficiencia energética en la conversión fotónica/eléctrica, resulta que tienen un coste inasumiblemente alto para ser montadas sobre paneles convencionales. El coste de estas células está en estos momentos entre los 25.000 y los 50.000 euros/m². Por esta razón, dichas células no salen del laboratorio, y si lo hacen es para ser troceadas y montadas sobre complejos sistemas de alta concentración que exigen seguimientos solares muy precisos, con lentes, generalmente de tipo Fresnel, que simulan sobre la célula centenares de soles, en un intento de reducir el coste de la célula, siempre más cara que una lente. Este camino por la otra dirección parece también bastante tortuoso e impracticable.

- b. Si se examina el ratio económico-energético mundial, que es inferior al español, de nuevo el indicador de la TRIE se mueve más bien poco y no alcanza el valor de 3.
- c. Si, además, se adopta un criterio de conversión energética mucho más cauto, se utilizan los datos sobre la energía primaria de un país —en este caso los de España, que suelen venir dados en millones de toneladas de petróleo equivalente (MTpe)— y, en vez de hacer la conversión, como se ha hecho en este trabajo, de 1 Tpe = 12 MWh, se adopta el factor de conversión resultante de promediar éste con el de las centrales térmicas actuales de 1 Tpe = 4,4 MWh (estos dos valores tan diferentes dependen de las direcciones de la conversión térmica-eléctrica o viceversa y representan las pérdidas por transformación de energía térmica a eléctrica, de aproximadamente un 66%) y se adopta un factor de conversión de 1 Tpe = 8 MWh, la TRE resultante sería del orden de 3.

3. Existe una tendencia generalizada a creer que toda Tasa de Retorno Energético superior a 1 puede ser suficiente para mantener un sistema de forma sostenible si el recurso teórico del que se nutre es lo bastante voluminoso, como en este caso la energía del sol. Pero esto no es cierto, en absoluto.

Según se muestra en la figura 3, Charles Hall opina —criterio que este autor comparte— que para que se pueda dar una civilización mínima (entendida como la capacidad de una sociedad humana de poder realizar actividades más allá de las de la supervivencia pura, como el ocio, los juegos, la cultura y demás), la TRE debe tener un mínimo de 5. Esto se puede ver de forma muy intuitiva en los ejemplos, expuestos multitud de veces, sobre lo insostenible que sería para un guepardo tener que gastar más energía en la caza de su presa que la energía que va a obtener de ella al comérsela.

Haciendo esto extensivo a los mamíferos en general y al hombre en particular, y considerando al hombre como un simple mono desnudo desde el punto de vista puramente termodinámico, habrá que convenir que si una pareja humana no puede extraer de su entorno la energía necesaria para alimentarse a sí misma y para alimentar al menos a dos descendientes por pareja (en el caso del hombre, es de los mamíferos que como individuo necesita más tiempo para llegar a ser autosuficiente y, por tanto, de los que más tiempo depende energéticamente de sus progenitores), la supervivencia de los humanos como especie sería imposible. Así pues, vistos exclusivamente como los animales que termodinámicamente somos, como monos desnudos, sin llegar siquiera a alcanzar un atisbo de cultura, necesitaríamos una TRE de como mínimo 2 y seguramente de 3 (es decir, un acopio estable de tres veces las necesidades metabólicas) para poder disponer en el metabolismo de las reservas necesarias para casos de escasez, carestía o falta circunstancial de alimentos, además de para criar a la prole o defenderse de los agentes externos.

Por lo tanto, en este contexto, la energía fotovoltaica, tal y como se ha analizado en el caso de España en el año 2009, no tiene visos de poder sostener una civilización como la actual, que consume en la actualidad 20 veces más energía que cuando se alimentaba exclusivamente de energía renovable, hace apenas unos 150 años (de biomasa fundamentalmente), y con un nivel de población unas 10 veces mayor. O surge pronto un milagro fotovoltaico que haga cambiar de opinión a este autor o, sinceramente, no veo a esta tecnología como la que pueda sustituir a los combustibles fósiles y mantener esta sociedad y el modelo de vida actual —ya muy insostenible, acuciantemente insostenible—, ni siquiera otro modelo menos consumista que pretenda mantener niveles de ocio y cultura similares a los actuales con los mecanismos actuales.

Consideraciones finales sobre las energías renovables

Volviendo al documento «Energy at the Crossroads» de Vaclav Smil, este profesor de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Manitoba, en el estado de Winnipeg (Canadá), muy conocido en todo el mundo por sus trabajos sobre energía, afirma lo siguiente:

Sólo uno de los numerosos recursos energéticos posee un flujo natural que sobrepasa con creces cualquier necesidad humana previsible [es decir, la energía solar, que hemos analizado a través de una fuente de captación como la fotovoltaica, *N. del t.*], y los restantes no resultan tan brillantes como los consideran los verdaderos creyentes, interesados proponentes y omnipresentes expertos energéticos instantáneos. Además, la energía nuclear de fisión sigue siendo una elección muy incierta y falaz, y no estoy ni mucho menos solo al afirmar que la fusión nuclear no debería ser incluida entre las opciones realistas.

Dicho esto, quizá convenga extenderse algo sobre las visiones acerca del potencial y la posibilidad real de extraer energía de determinados flujos y también sobre las energías renovables en un contexto general. Ambas visiones son holísticas y no se suelen tener muy en cuenta en estos tiempos de premura, falta de tiempo y horizontes cortos.

Smil habla de flujos y eso es a lo que hay que atenerse, más que al potencial teórico de una fuente energética; lo importante, el factor clave, es el flujo energético que es posible capturar de forma razonable y sostenible mediante una serie de dispositivos. Por ejemplo, el flujo de los cursos hídricos se calcula en 9.000 km³ anuales, de los cuales los seres humanos interceptan, ya sea para alimentación e irrigación o para generar energía, unos 4.000 km³. Pero los seres humanos no tienen acceso a todo el resto. Un 25% de las grandes cuencas fluviales mundiales ya están ocupadas por embalses y estructuras hidráulicas varias, y no deberíamos plantearnos la interceptación de mucho más que eso si queremos ser mínimamente respetuosos con la naturaleza.

Con respecto a la energía que eventualmente podría extraerse de la biomasa, la propia figura 2 ilustra la imposibilidad del sueño o el mito de la sustitución de los combustibles líquidos actuales de origen fósil sin provocar un desastre medioambiental de alcance global. Desde los inicios de la era moderna, prácticamente han desaparecido el 50% de los bosques que originalmente tenía el planeta, y el ritmo de destrucción neta (deforestación menos plantación) es del orden del 1% anual. Los intentos europeos de conseguir combustibles líquidos, esenciales para un transporte dominado en un 94% por el petróleo a escala mundial, a fuer de ser muy tímidos en los planes

estatales, ya están suponiendo un impacto brutal en la producción de alimentos y en la ocupación de suelo fértil. Además, la energía neta de algunos biocombustibles, como el etanol extraído del maíz, hace bueno el dicho de «matar moscas a cañonazos». No existe ni la más remota posibilidad de que se puedan llegar a obtener de los biocombustibles 3.900 millones de toneladas de petróleo sin acabar destrozando el suelo fértil del planeta, ya que la tierra no es como una gasolinera a la que recurrir cuando nos viene en gana llenar el depósito y que sigue surtiendo con las mismas mangueras año tras año. Los suelos están sujetos a agotamiento si no se dejan en reposo y se reponen los suelos (que suponen un aporte de energía).

Por otro lado, respecto a la energía eólica, sobre la que se han desatado expectativas enormes, cabe decir que a finales de 2010 alcanzó los 200 GW de potencia instalada, una cantidad que en principio parece —y es— enorme. Ello equivale a unos 200.000 aerogeneradores de 1 MW de potencia, como los que se suelen ver en tierras españolas, aunque ya se están instalando de 2 y 5 MW, estos últimos sobre todo en plataformas marinas. Las asociaciones de la industria eólica presumen de crecimientos enormes, y con razón. Por ejemplo, la European Wind Energy Association se jacta de haber crecido un 31% en 2009 y hasta un 22,5% en 2010, porcentajes que no son ciertamente baladíes, sobre todo teniendo en cuenta la crisis financiera actual. Sin embargo, si se comprueba el impacto en el total mundial, el conjunto de los parques eólicos instalados en el mundo hasta finales de 2010 apenas sirvieron para suministrar alrededor del 2% de la electricidad mundial (21.325 TWh) consumida ese año. Es más, el consumo eléctrico mundial aumentó un 5,9% entre 2009 y 2010, y desde el año 2000 el incremento del consumo eléctrico mundial acumulado ha sido de alrededor de un 4% anual. Así pues, aunque la industria eólica pudiese multiplicar por unas diez veces la producción mundial de aerogeneradores que se alcanzó en 2010 (unos 40.000 MW), apenas conseguiría cubrir el aumento de la demanda eléctrica mundial de ese año, sin poder sustituir sistemas de generación no renovable.

En este sentido, un reciente artículo publicado en la prestigiosa revista *Energy Review* del pasado mes de junio de 2011, «Global Wind Power Potential: Physical and Technological Limits»,⁷ cuyos autores son los profesores Carlos de Castro, Margarita Mediavilla, Luis Javier Miguel y Fernando Frechoso, de la Universidad de Valladolid, ha suscitado una gran polémica al analizar el potencial eólico mundial de forma diferente y novedosa respecto de los estudios normales. Éstos suelen analizar el potencial midiendo los vientos en una zona durante uno o dos años y luego lo extrapolan a zonas más amplias.

7. Véase un resumen en www.crisisenergetica.org/article.php?story=2011083116270061.

Pero el estudio de estos expertos ha sido llevados a cabo «de arriba abajo», partiendo de la energía contenida en todos los vientos del planeta y luego descartando los vientos y zonas que no son accesibles para la explotación, así como otros límites. Sus conclusiones son de alto calado, pues apuntan a que el potencial total máximo explotable sería del orden de 1 TW —lo cual implica unos 5 TW de instalaciones eólicas— con rendimientos similares a los actuales (de un 20% de las horas). Esto significaría que el máximo potencial que se puede esperar a escala planetaria de este tipo de energía sería del orden de unas 25 veces superior al actual. Es decir, que como mucho podría cubrir el 50% del consumo eléctrico mundial de 2010.

Si hay que extraer alguna conclusión de estas consideraciones finales y de las cifras aportadas sobre la energía solar fotovoltaica, ésta es que la sociedad humana haría bien en afrontar cuanto antes los problemas asociados a un modo de vida industrial y tecnológico, que nos ha llevado a consumir recursos fósiles y nucleares finitos a ritmos crecientes e insostenibles, los cuales están ya poniendo en peligro la sostenibilidad de dicha sociedad y de los seres vivos con los que tiene que convivir. Hay que afrontar la evidencia de un declive inevitable e irreversible de la explotación de los recursos fósiles, y hay que entender que ciertos recursos renovables, que siempre podrán seguir a nuestra disposición, quizá no sean utilizables con el grado de intensidad y versatilidad que nuestra sociedad demanda. En definitiva, que hay que repensar el modelo de sociedad y plantearse modos de vida más frugales y con menos consumo per cápita que los que esta sociedad industrial y capitalista impone con su necesidad de crecimiento infinito, que ni las fuentes renovables podrán cubrir. Una nueva disyuntiva se abre ante nosotros. O decrecemos en los consumos absolutos y per cápita, empezando por los más consumistas, de forma consciente y voluntaria, o bien la naturaleza y las guerras por los recursos lo harán a su manera. La decisión depende de nosotros.

Bibliografía

- ALSEMA, E. (2000): «Energy Pay-back Time and CO2 Emissions of PV Systems», *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 8, pp. 17-25.
- ASOCIACIÓN EMPRESARIAL FOTOVOLTAICA (2010): «Manifiesto en defensa de la energía solar», <http://www.inmoweb.com/IMAGES/Manifiesto%20AEF.pdf>.
- BANKIER, C. y S. GALE (2006): «Energy Pay-Back of Roof Mounted Photovoltaic Cells», <http://energybulletin.net/node/17219>.
- BIROL, Fatih (2008): entrevista con George Monbiot, «When will the oil run out?», *The Guardian Online*, 15.12.2008 (<http://www.guardian.co.uk/business/2008/dec/15/oil-peak-energy-iea>).
- (2009): presentación del informe «World Energy Outlook 2009», Hotel Intercontinental de Madrid, 27.10.2009.

- CAMPBELL, Colin J. (1998): «The End of Cheap Oil», *Scientific American*, n.º 71, pp. 78-83.
- (2002): «Understanding Peak Oil», en *ASPO International/peakoil.net* (<http://www.peakoil.net/about-peak-oil>).
- (2008): «Peak Oil: A Turning Point for Mankind», VII ASPO International Conference, Barcelona, 20-21 de octubre de 2008 (<http://www.aspo-spain.org/aspo7/presentations/Campbell-Mankind-ASPO7.pdf>); ponencia disponible en vídeo, en <http://video.google.com/videoplay?docid=-2521422940285513454> (en inglés).
- DIAMOND, Jared (2005): *Collapse*, Viking Press. (Ed. cast.: *Colapso*, DeBolsillo, 2006.)
- HALL, Charles A. S. (2008): «Economic Implications of a Changing EROEI», <http://www.aspo-spain.org/aspo7/presentations/Hall-EROEI-ASPO7.pdf>.
- HALL, Charles A. S., N. GAGNON y L. BRINKER (2009): «A Preliminary Investigation of the Energy Return on Energy Investment for Global Oil and Gas Production», *Energies 2*: 490-503.
- KNAPP, K. y T. JESTER (2001): «Empirical Investigation of the Energy Payback Time for Photovoltaic Modules», *Solar Energy*, n.º 71, pp. 165-172.
- PEHARZ, G. y F. DIMROTH (2005): «Energy Payback Time of the High-concentration PV System FLATCON», *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, n.º 13, pp. 627-634.
- PRIETO, Pedro A. (2006): «La Tasa de Retorno Energético: Un concepto tan importante como evasivo», http://www.crisisenergetica.org/ficheros/TRE_tan%20importante_como_evasivo.pdf.
- PRIETO, Pedro A. y Charles A. S. HALL (en prensa): *Energy Returned on Energy Invested from Solar Photovoltaic Power in Spain*, Springer («Briefs in Energy»), Nueva York.
- RAUGEI, M. (2009): «La electricidad fotovoltaica (PV) y su papel en el presupuesto energético actual y futuro», *Ecología Política. Cuadrenos de Debate Internacional*, n.º 39, pp. 65-72.
- RAUGEI, M., S. BARGIGLI y S. ULGIATI (2005): «Energy and Life Cycle Assessment of Thin Film CdTe Photovoltaic Modules», Unidad de Investigación sobre Energía y Medio Ambiente, Departamento de Química, Universidad de Siena (Italia).
- SMIL, V. (1994): *Energy in World History*, Westview Press, Boulder (Colorado), 352 pp.
- (2006): «Energy at the crossroads. Background notes for a presentation to the Global Science Forum Conference on Scientific Challenges for Energy Research», París, 17-18 de mayo de 2006. Disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/52/25/36760950.pdf>.
- TAINTER, Joseph (1988): *The Collapse of Complex Societies*, Cambridge University Press.

¿Reducir emisiones para combatir el cambio climático? Depende

FERRAN PUIG VILAR*

Cuando pronuncio conferencias sobre cambio climático siempre comienzo señalando que nos encontramos frente a un tema maldito. Es maldito por las limitaciones físicas, atávicas, psicológicas y culturales que nos impiden no tanto la comprensión de sus mecanismos, sino la propia percepción del problema (Vilar, 2009b). Es maldito por la gran cantidad de malentendidos que anidan incluso en personas con cierto conocimiento de los orígenes, la dinámica y las eventuales respuestas a la cuestión. Es maldito porque las únicas respuestas con alguna verosimilitud de eficacia significan un cambio tan sustancial en el *statu quo* que requerirían, previamente, incluso una reconsideración de los valores fundacionales de nuestra civilización. Finalmente, en un vano intento de autojustificación, me refiero a la *maldición del conferenciante*. Desde luego, una parte de los oyentes escuchará de mí aseveraciones que no quiere oír, pero que debe conocer. Pero otra, la ecologista, puede levantar también, frente a algunas de mis afirmaciones, sus defensas intelectuales. Ambos serán movidos por la emoción antes que por la razón. Al final, mis conclusiones serán (probablemente) apreciadas, pero afirmaciones tan extraordinarias habrían requerido fundamentaciones extraordinarias, por lo que, inexorablemente, no tendré bastante con el tiempo que los organizadores me han adjudicado a pesar de mis denodados esfuerzos de síntesis. Confío en que la longitud que me han otorgado para este texto y la posibilidad de incluir referencias permita salvar este inconveniente, siquiera de forma parcial.

* Ingeniero superior de telecomunicaciones y divulgador científico especializado en cambio climático. Su blog *Usted no se lo cree* (<http://ustednoselocree.com>) fue galardonado con el 1.º premio de la Fundación Biodiversidad por su contribución a la divulgación del problema.

Me propongo aquí mostrar la incorrección de las siguientes afirmaciones:

1. Es posible estabilizar el clima a las condiciones actuales e incluso revertir la perturbación causada hasta ahora en tiempo útil.
2. Para reducir la magnitud de la crisis climática basta con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
3. La reducción del empleo de combustibles fósiles supondría una disminución de la temperatura media de la Tierra.

El comportamiento sistémico

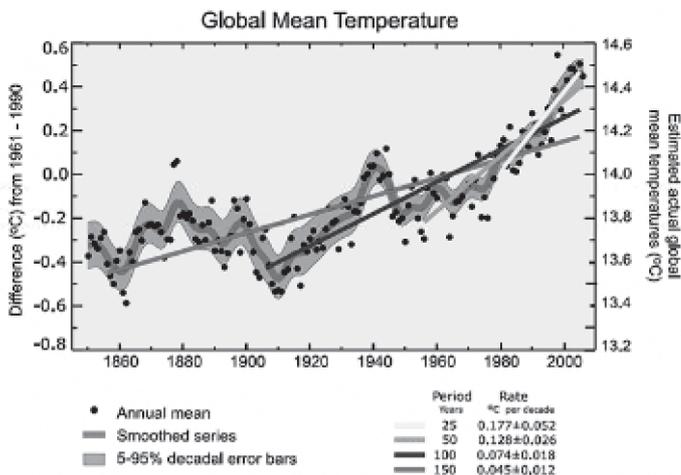
Estamos programados culturalmente para suponer una linealidad en los fenómenos. A doble causa corresponde doble efecto. A doble unidad de tiempo se producirá una respuesta doble si la perturbación se mantiene constante. Una de las primeras cosas que aprendemos en nuestra infancia es la tabla de multiplicar, paradigma de la proporcionalidad. Sin embargo, tanto los fenómenos de la naturaleza como los sociales, y desde luego la interacción entre ambos, tienen carácter *sistémico* y, por tanto, evolucionan exponencialmente.

Un sistema contiene, de forma general, lazos de retroalimentación. En ellos, el efecto resultante (respuesta) de una causa (perturbación del sistema) produce a su vez una variación en la intensidad de la propia causa que la produce, de tal forma que el efecto bien resulta atenuado (retroalimentación negativa) o aumentado (retroalimentación positiva). Esta sola característica está en el origen de la forma exponencial —o sea, no proporcional— de la evolución de la respuesta a la perturbación. Se ha demostrado que somos muy torpes al evaluar las respuestas exponenciales más simples y, en particular, somos especialmente insensibles al exponente (Wagenaar y Sagaria, 1975). También sabemos que en el sistema climático de la Tierra predominan abrumadoramente los lazos de retroalimentación positiva, en los que el efecto amplifica la causa.¹ Además, un sistema contiene, de forma general, retardos, lo que significa que puede transcurrir un lapso de tiempo entre la aparición de la perturbación y la manifestación de la respuesta.

En el caso del sistema climático, la perturbación son los gases de efecto invernadero (GEI), notablemente el dióxido de carbono, y la respuesta se suele medir en términos de temperatura media de la Tierra. La figura 1 muestra la evolución exponencial de esta respuesta: la inclinación es mayor cuanto más cercano en el tiempo es el intervalo considerado (Trenberth *et al.*, 2007).

1. Por ejemplo, la propia Tierra pasa a ser emisora de CO₂ y metano con sólo un leve aumento de la temperatura media.

Figura 1. Evolución de la temperatura desde mediados del siglo XIX. Los puntos negros son los valores de temperatura, y las líneas coloreadas son aproximaciones lineales calculadas en tres intervalos distintos que terminan en la actualidad. Se observa como, cuanto más cercano es el intervalo, mayor es su pendiente, lo que está en consonancia con la evolución exponencial.



Fuente: IPCC (2007).

Por su parte, el retardo tiene lugar debido a la presencia de los océanos y de las masas de hielo, cuya elevada inercia térmica ejerce una función de moderación, aunque sólo temporal. Se estima que la temperatura actual corresponde a la composición de la atmósfera de hace entre 5 y 50 años (Budzianowski, 2011), aunque algunos autores señalan un retardo incluso superior.² En consecuencia, los impactos más severos del cambio climático serán experimentados por las personas hoy más jóvenes y por quienes todavía no han nacido, todas ellas con limitadas o nulas posibilidades de defender sus derechos. Así, éstos, junto con las de las personas que vayan a vivir durante los siglos y milenios venideros, resultan depender exclusivamente de nuestras decisiones del presente (y del pasado). Este hecho, insólito en la historia a este nivel de magnitud, plantea enormes retos desde un punto de vista estrictamente ético.

2. Este hecho supondrá un incremento adicional de 0,6°C como mínimo (Hansen *et al.*, 2005; Ramanathan y Feng, 2008).

Equilibrio, estabilidad y sistemas de control

Un sistema puede tener uno o varios estados de equilibrio (o ninguno). En esa situación, el sistema se mantiene estable medido en sus *variables de estado*. Por ejemplo, distintas combinaciones de concentración de GEI, temperatura, nivel del mar y cantidad de vapor de agua en la atmósfera pueden suponer estados de equilibrio distintos. Pero es importante tener en cuenta que no todos los estados de equilibrio que uno pueda imaginar son posibles, lo que puede demostrarse matemáticamente de forma inequívoca.

Por su parte, cada estado de equilibrio tiene su *margen de estabilidad*, a saber, la cantidad de perturbación que puede soportar alrededor del estado de equilibrio en cuestión. Dentro del margen de estabilidad, el sistema acabará volviendo al estado de equilibrio. Pero si esa perturbación es superior al margen de estabilidad, el sistema, *autónomamente*, cambiará de estado de equilibrio, adquiriendo *vida propia* durante el régimen transitorio de paso de un estado a otro. En la analogía del *Titanic*, un estado de equilibrio es el navío a flote antes del impacto contra el iceberg, y otro estado de equilibrio es el navío en el fondo del mar. No hay estados de equilibrio intermedios.

La analogía con el *Titanic* permite, además, evidenciar el comportamiento exponencial. Una vez desestabilizado, el navío comienza a capotar de una forma que, al principio, parece proporcional al tiempo. Sin embargo, el hundimiento se va acelerando hasta que se va por completo a pique con gran rapidez. Junto con la lentitud del fenómeno climático, que no estamos atávicamente programados para percibir como amenazante, el hecho de que los comportamientos exponenciales sean casi proporcionales en sus inicios dificulta enormemente la percepción de la magnitud del problema por parte del público.

Una de las principales dificultades del *pensamiento sistémico* es la definición de los contornos del sistema. De forma general, cuanto más se amplía el ámbito en el que ocurren los sucesos, se advierte la participación de un mayor número de variables. Siguiendo con la analogía, en el «sistema *Titanic*» el umbral de estabilidad, según señaló el ingeniero jefe, era la inundación de cuatro compartimentos. Con cuatro compartimentos se podía resistir, estableciendo un *sistema de control* que, por ejemplo, contuviera la entrada de agua mediante compuertas u organizando un comando que la achicara a medida que se iba acumulando. Pero se inundaron cinco, lo que le llevó a predecir el hundimiento subsiguiente en términos de *certeza matemática* (Vilar, 2009a). Pero, si en lugar de considerar el navío aisladamente tomamos en consideración el sistema navío + océano + iceberg, conviene darse cuenta de que, incluso antes del momento en que la tripulación advirtiera el peligro, es po-

sible afirmar que el *Titanic*, dadas su velocidad, estructura y sistema de control, se iba a hundir irremediamente. De alguna forma, *ya estaba hundido*. La superación de los umbrales de estabilidad suele tener lugar de forma totalmente silenciosa.

No es posible, hoy por hoy, afirmar categóricamente que el umbral de estabilidad del sistema climático de la Tierra haya sido ya superado. Tampoco es posible afirmar lo contrario. Como veremos más adelante, es incluso arriesgado afirmar que el planeta se haya encontrado en un estado de equilibrio climático, inherente al sistema, durante los últimos 10.000 años, aunque bien es cierto que sus parámetros se han mantenido notablemente estables. De haberse perdido esta estabilidad, a lo único que podemos aspirar es a analizar la viabilidad de diseñar e implementar un *sistema de control* que mantenga constante algún parámetro, por ejemplo la temperatura media. Pero hay que hacerlo *a tiempo*.

Emisiones, concentración e interacciones

El pensamiento sistémico requiere de una adecuada comprensión de la diferencia entre flujos y acumulaciones, conceptos que muy a menudo se confunden. Incluso personas del mayor nivel intelectual reflexionan erróneamente y violan, por ejemplo, el principio de la conservación de la masa. En un conocido ensayo realizado a estudiantes y doctores del Massachusetts Institute of Technology, particularizado al ámbito climático, se confirmaron un buen número de estudios anteriores realizados sobre personas altamente cualificadas, incluidos responsables de grandes empresas. En ellos se puso de manifiesto la dificultad de la mayoría de ellas para analizar correctamente el funcionamiento del sistema climático en sus aspectos más elementales cuando se solicitaba una reflexión cualitativa y no se les permitía emplear las herramientas analíticas y matemáticas convencionales (Stermán y Sweeney, 2007). Así, el comportamiento de la mayoría de las personas analizadas llevaba a deducir que éstas creían que, mientras las emisiones siguieran aumentando, el cambio climático empeoraría, pero que, si las emisiones dejaran de crecer, el clima se estabilizaría.

Cuando se les permitía hacer uso de un simulador con el que analizar las consecuencias de sus acciones, los que eran capaces de establecer estrategias correctas de contención sólo lo hacían cuando estaban muy cerca del límite de tiempo disponible (Stermán, 2011). Se evidenció así la dificultad de percibir los tiempos de retardo de los sistemas en general y del climático en particular, y, con ello, la baja probabilidad de realizar acciones correctivas con anticipación, cuando su coste es inferior. De modo que en la realidad,

dados los inevitables márgenes de incertidumbre en el caso climático, la probabilidad de creer erróneamente que se está a tiempo de actuar es, pues, significativa.

Lo que perturba el sistema climático no son las emisiones, sino la concentración resultante de GEI en la atmósfera. Es preciso tener en cuenta que, por su parte, la Tierra absorbe, tanto en los océanos como en la biosfera, una parte de las emisiones antropogénicas. La absorción de GEI por parte de la Tierra supone alrededor de la mitad de las emisiones, si bien su capacidad de ser sumidero disminuye con la concentración y algunos subsistemas pasan a ser emisores netos a partir de cierto nivel de temperatura. Ya hoy en día, algunas zonas del mar Báltico se han convertido en emisoras *netas* de dióxido de carbono (*Science Daily*, 2010). Las prácticas agrícolas actuales constituyen también una fuente neta de emisiones de GEI, en particular de óxidos de nitrógeno.

A este respecto se suele utilizar como ilustración la analogía de la bañera. Supongamos un recipiente con el desagüe y también el grifo abiertos. Si el caudal de salida del grifo es superior a la capacidad de desagüe, el nivel de la bañera aumentará. Es posible reducir el caudal del grifo, pero, mientras el caudal de desagüe siga siendo inferior al del grifo, el nivel de agua de la bañera seguirá aumentando.

En el sistema climático, el flujo son las emisiones y el acumulador es la atmósfera, que medimos en forma de concentración de GEI. Cuantificamos las primeras en términos de gigatoneladas de CO₂ al año, y la segunda en partes por millón en volumen (ppmv). Para «estabilizar» la concentración de GEI a un valor determinado (pero no el clima, dados los retardos), sería preciso emitir gases a la atmósfera al mismo ritmo al que la Tierra es capaz de absorberlos. Sólo por debajo de este valor de emisiones la concentración podría comenzar a disminuir, salvo que algún subsistema terrestre se haya convertido ya en emisor neto, lo que, por otra parte, está previsto que suceda en la década de 2020 (Shaefer *et al.*, 2011).

En este punto conviene distinguir entre los distintos GEI. A diferencia de casi todos los demás gases (metano, ozono troposférico, óxidos de nitrógeno, algunos CFC y HFC, etc.), el CO₂ remanente tiene un tiempo de residencia en la atmósfera que se mide en decenas de miles de años (Eby *et al.*, 2009).³

3. Salvo que hagamos algo por retirarlo, lo que es una tarea virtualmente imposible, comparable a si quisiéramos eliminar la sal de los océanos, lo que requeriría una inmensa cantidad de energía. A su vez, la respuesta del sistema, medida en forma de incremento de temperatura, perdura todavía más allá.

Este hecho está en la base de la *irreversibilidad* del cambio climático (Solomon *et al.*, 2008), y nos informa de que todo aquello a lo que podemos aspirar es a intentar frenar el proceso en curso.

La estrechez del margen disponible

Por este motivo, para tener alguna posibilidad de evitar la superación del umbral de estabilidad del sistema, medido en términos de aumentos permanentes e *intolerables* del nivel del mar durante siglos que cambiarían radicalmente la faz del planeta —umbral estimado hoy en alrededor de 1,0 °C (Matthews y Caldeira, 2008) en términos de temperatura media relativa al promedio de la era preindustrial—,⁴ la reducción de las emisiones de CO₂ debe ser *absolutamente drástica*. Se estima que, en 2050, debería haber sido reducida, como mínimo (Hansen *et al.*, 2011b), a *una décima parte* de las actuales. Esto conseguiría estabilizar la concentración de CO₂ en la atmósfera. Para ello sería necesaria una reducción del 6% anual, empezando *no más tarde* de 2013 (Matthews y Caldeira, 2008).

Dado que es posible comparar el empleo de energía con el producto interior bruto, podemos estimar que, de no producirse una sustitución masiva y rápida de los combustibles fósiles por sistemas alternativos de generación de la misma energía *útil*, este requisito equivaldría a una reducción necesaria del PIB mundial del mismo orden de magnitud. Supongamos un 5% si se consigue mejorar la denominada *intensidad de carbono* en la producción energética, que, por lo demás, actualmente está aumentando debido a un empeoramiento de la eficiencia energética (Canadell *et al.*, 2007) y a una contribución creciente del carbón en el *mix* eléctrico. Éste es el valor que se considera como el límite por debajo del cual lo que resulta severamente afectado es la estabilidad del sistema social. En este sentido, se menciona la unión de las Alemanias anteriores al fin de la guerra fría, que supuso, tras la reunificación, una reducción de este orden de magnitud —si bien sus impactos sociales resultaron amortiguados por encontrarse en un entorno de fuerte crecimiento económico internacional (WBGU, 1995)—. Esta situación debería tener lugar de forma planificada a lo largo de cuarenta años consecutivos, *a nivel mundial*.⁵ Cómo se distribuya el esfuerzo resulta ser un problema ético y político, pero no físico.

4. El umbral en ningún caso es el valor de + 2 °C que se maneja en el entorno político, económico y mediático. Esto nos llevaría a medio plazo a un nivel del mar alrededor de 25 metros superior al actual (Gardiner, 2010).

5. De empezar más tarde de 2013, las reducciones sucesivas deberían ser mucho más importantes, y acabar antes de 2050.

Es cierto que las energías alternativas pueden contribuir a mitigar este impacto, pero sus características intrínsecas (intermitencia, baja Tasa de Retorno Energética) generan dudas muy razonables sobre su capacidad para aportar una sustitución efectiva alrededor de los niveles actuales (Heinberg, 2009). En la improbable hipótesis de que fuera posible un despliegue masivo sin violar las leyes de la termodinámica, se generarían problemas de escala y de interferencia que, o bien invalidarían el optimismo tecnológico inicial, o bien crearían nuevos problemas cuya solución no se vislumbra a día de hoy (Trainer, 2010; Moriarty y Honnery, 2011; Union of Concerned Scientists, 2011).

Esta necesaria reducción de las emisiones, sin embargo, no sería suficiente para mantener una perturbación del sistema climático dentro de límites tolerables. La concentración actual de CO₂ en la atmósfera, superior ahora a los 390 ppmv, ha rebasado el nivel de 350 ppmv que, hoy por hoy, se considera como límite máximo (Hansen *et al.*, 2008). Es posible que, si el rebasamiento presente no dura *demasiado*, los retardos del sistema permitan que la energía acumulada no llegue a aumentar lo suficiente como para iniciar la fusión (y derrumbamiento) *imparable* de las grandes masas de hielo del planeta. De ser así, el nivel del mar llegaría a superar en 75 metros (!) al actual (Hansen, 2009), cosa que se iría produciendo durante siglos de aumento permanente. Se darían además episodios súbitos difíciles de prever, por lo menos con los conocimientos del presente y los del futuro previsible.

Para evitarlo es imprescindible retirar de la atmósfera el exceso de carbono actual. Una vez contrastadas las ventajas e inconvenientes de las distintas opciones, el mismo trabajo de referencia liderado por James Hansen⁶ que señala la necesidad de reducir con carácter inmediato las emisiones al 6% anual apuesta por la reforestación masiva, reforestando *todo lo deforestado en los últimos 150 años*, así como cambiar las insostenibles prácticas agrícolas actuales y convertir esta actividad en un sumidero de carbono. También se estima necesario el empleo de plantas de generación de energía eléctrica a base de biocombustibles (sólo a partir de residuos agrícolas o forestales), pero *necesariamente* con *secuestro geológico* del CO₂ resultado de su combustión.⁷ Este trabajo está firmado por catorce eminencias científicas de todo el mundo.⁸

6. James Hansen es el climatólogo jefe de la NASA, y es a menudo mencionado como el más respetado del mundo.

7. En este punto es capital darse cuenta de que la capacidad de almacenamiento geológico de CO₂ equivale, como mucho, a sesenta años de emisiones (nivel 2005) (Gough y Upham, 2011), y de la dificultad de contar con apoyo social para esta empresa (Uphama y Roberts, 2011).

8. Es importante destacar que este *paper* no ha sido todavía publicado, pero entiendo que, dada la relevancia de todos sus autores, no debería sufrir variaciones significativas tras el proceso de revisión.

Otra de las características de un sistema retroalimentado es el surgimiento de comportamientos contraintuitivos.

El cielo no es lo que era

Uno de los malentendidos más flagrantes del problema climático se refiere a la creencia de que la reducción del empleo de combustibles fósiles, y en particular la reducción o eliminación de las centrales térmicas generadoras de energía eléctrica a base de carbón, supondría una disminución de la temperatura media de la Tierra y contribuiría, así, a mitigar la crisis climática.

Ciertamente, la clausura de las centrales térmicas de carbón y gas natural supondría una reducción muy sustancial de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Sin embargo, la mayoría de las centrales térmicas emiten otros gases, resultado de las impurezas del carbón y de la combustión incompleta. Entre éstos se encuentran, de forma destacada, los compuestos de azufre, que, al combinarse con el vapor de agua, forman el ácido sulfúrico de la conocida lluvia ácida y generan micropartículas sólidas (aerosoles).

Este tipo de aerosoles tiene una propiedad singular en relación a los demás gases y partículas con los que contaminamos la atmósfera reguladora del clima. No sólo no refuerzan el efecto invernadero sino que, por el contrario, reflejan parte de la luz del sol hacia el espacio. Así, la irradiación solar promedio que hoy alcanza la superficie de la Tierra es significativamente inferior a la que recibiríamos de no existir estas centrales de carbón. Es lo que se conoce como el efecto de «oscurecimiento global», que en algunas zonas de la Tierra (EE.UU.) ha llegado a suponer una disminución del 10% en la radiación solar (Liepert, 2002), y si bien este efecto ha sido mitigado en las dos últimas décadas, se prevé, en cambio, que pueda volver a aumentar a corto plazo (Wild, 2011). De no existir este efecto de apantallamiento se estima que la temperatura media de la Tierra sería, ya hoy, sensiblemente superior a la actual, con consecuencias dramáticas.

El hecho de que el azufre causante de la lluvia ácida y de distintos problemas de salud sea a su vez un protector térmico constituye una de las ironías del sistema climático, una especie de *pacto de Fausto*. Si bien la temperatura ha ido creciendo desde los inicios de la revolución industrial, en los treinta años posteriores a la Segunda Guerra Mundial el crecimiento térmico se detuvo, para reiniciarse a finales de los setenta con nuevos bríos. El motivo no fue otro que el inicio del crecimiento económico exponencial, que requirió del despliegue generalizado de miles de plantas térmicas de generación de energía a base de carbón. Éstas, que iban aumentando la concentración de CO₂

en la atmósfera, producían a su vez grandes cantidades de aerosoles de azufre, hasta el punto de compensar el forzamiento de los GEI, que actúan con menor inmediatez. En los años setenta, como resultado de la alarma ciudadana respecto a la lluvia ácida, muchos países establecieron una normativa por la cual las empresas eléctricas se vieron obligadas a filtrar el azufre. Esto dio lugar a una reducción sensible del efecto de apantallamiento y, como resultado, la temperatura reinició su aumento. En Estados Unidos la normativa se aplicó únicamente a las centrales nuevas, con lo que todavía muchas centrales siguen emitiendo azufre y apantallando el planeta, si bien su efecto de compensación ya no alcanza a neutralizar el efecto del CO₂. Sin embargo, en la mayoría de los países del mundo, y desde luego en los de industrialización reciente, esta normativa es, todavía hoy, inexistente, o bien no se aplica.

La importancia de este fenómeno reside en el hecho de que el carbón debería ser el primero de la lista a la hora de reducir el consumo de combustibles fósiles. Esto es así debido a que, por unidad de energía producida, la cantidad de emisiones de CO₂ generadas por la combustión de carbón es casi el doble que en el caso en que esa misma cantidad de energía se obtiene a partir de la combustión del metano (gas natural).⁹ En este sentido es importante saber que, si bien el CO₂ se mantiene en la atmósfera de forma virtualmente indefinida ejerciendo su efecto invernadero, la vida media de estos aerosoles troposféricos es de sólo unos pocos días, pasados los cuales decaen a la superficie. Si su concentración atmosférica sigue aumentando es sólo debido a la producción continua y creciente de electricidad, principalmente en las centrales de carbón sin protección. Ocurre entonces que, de clausurarse éstas (o incorporar protección), la temperatura, en lugar de disminuir, como podría suponerse, en realidad aumentaría a medida que fuera desapareciendo el efecto de apantallamiento.

Cuál sería el incremento de temperatura resultante sin la presencia de estos aerosoles reflectantes es algo sobre lo que la comunidad científica no ha dicho todavía la última palabra. El campo específico de los aerosoles, dada su amplia variedad, su distinta intensidad y signo de forzamiento, la dificultad de aislarlos para ser analizados separadamente, su mezcla con el polvo atmosférico de origen natural y su intervención necesaria en la formación de la nubosidad, resulta ser, en el marco del conjunto de la ciencia del clima, el que mayores márgenes de incertidumbre atesora todavía. En todo caso, está claro que todos los aerosoles, salvo los de azufre y algunos nitratos en menor medida, acentúan el efecto invernadero; en particular la carbonilla orgánica o mineral, cuyo origen se encuentra en la actividad de cocción con leña en

9. El petróleo, por su parte, se encuentra cerca del punto medio entre estos dos extremos.

los países más tradicionales, como la India, en los incendios forestales, espontáneos o producto de la deforestación voluntaria, y en los motores diésel.

Con todo, en los distintos trabajos de investigación, a este efecto de apantallamiento se le responsabiliza de ocultar entre 0,9 °C (Armour y Roe, 2011) y 3,0 °C (Andreae *et al.*, 2005). Además, la curva de probabilidades no es simétrica, sino que está decantada hacia los valores superiores (Ramanathan y Feng, 2008). La única forma de reducir este margen de incertidumbre consiste en efectuar mediciones por satélite, pero los que están actualmente en servicio no están preparados para la misión, y los dos últimos satélites de observación climática, el *Orbiting Carbon Observatory* y el *Glory* —dedicado este último al análisis de los aerosoles de forma específica—, por algún motivo no llegaron a alcanzar la órbita prevista y yacen ahora en el fondo del mar.

¿Significa esto que el problema no tiene solución? Todavía no, pero lo complica extraordinariamente. Una forma de compensar el enfriamiento producido por los aerosoles al ir disminuyendo la combustión de carbón sería reducir todavía más el nivel de CO₂, pero, si en 2050 las emisiones de este gas deben ser como máximo un 10% de las actuales, y bajando, no nos queda margen. La única alternativa es la reducción de los demás gases de efecto invernadero distintos del CO₂, así como del otro tipo de aerosoles, que acentúan el efecto invernadero.

Se da la circunstancia de que el efecto de calentamiento del conjunto de todos esos otros gases resulta ser comparable al efecto de enfriamiento estimado de los aerosoles (Parrish y Tong, 2009), de modo que, si a medida que se van clausurando las centrales de carbón para reducir el CO₂ consiguiéramos una reducción paralela de las emisiones de todo lo demás, ambas acciones podrían compensarse, siquiera parcialmente. Nos damos cuenta de que este requisito necesario añade nuevos grados de dificultad a la tarea ya hercúlea de reducir las emisiones de CO₂ al nivel requerido, constriñendo adicionalmente el espacio de respuestas a la crisis climática. Además, las interacciones entre esos gases complican más el panorama, pues si, por ejemplo, se produjera una reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno, aumentaría el calentamiento provocado por el metano y el ozono, con los que el nitrógeno reacciona, resultando así parcialmente neutralizado el efecto de reducción de esos otros GEI (Shindellet *et al.*, 2009).

Un malentendido similar, ampliamente generalizado, se refiere a los comportamientos *personales*. Creemos que por reducir nuestro consumo energético contribuimos a evitar nuestra parte del calentamiento global. Esto es así, pero, en las circunstancias actuales de mercado *libre* de los combustibles fósiles, la disminución del consumo supone una reducción del precio de estos

materiales. Dicha reducción permitirá el acceso a este tipo de energía a quienes hasta entonces no lo tenían, con lo que las emisiones que yo no realice serán emitidas por otros. Así es la globalización.

No estoy diciendo que no se deba reducir el consumo de energía. Hay muchos motivos para hacerlo, entre los que la equidad y el comportamiento ejemplar ocupan lugares preferentes. Pero, a diferencia de la creencia general, estas acciones no tendrán impacto alguno en la cuestión climática mientras el precio de los combustibles fósiles dependa de la demanda y el esfuerzo no sea generalizado en (casi) todo el mundo. Si desea usted comportarse de forma climáticamente responsable, hágase vegetariano. Una vida vegana durante setenta años evita la emisión de 100 toneladas de CO₂ *equivalente* (Stehfest *et al.*, 2008).

A este respecto, una posibilidad interesante que parece abrirse paso es la de establecer un impuesto creciente al carbono, hasta llegar a unos 100-150 euros/tonelada de CO₂. La totalidad de la recaudación obtenida en cada país podría ser repartida de forma equitativa entre la población, lo cual, además de disuadir del empleo de combustibles fósiles a escala global y convertir en competitivas otras fuentes de energía, permitiría una redistribución de riqueza en función de la responsabilidad climática de cada individuo o grupo. Por su parte, los mercados de carbono actuales de la Unión Europea, así como el recientemente establecido en Australia, no parecen cumplir con el objetivo declarado de reducir las emisiones de forma efectiva, contrariamente a las apariencias.

Contraingeniería al rescate

En estas circunstancias, dada nuestra actual incapacidad para adaptarnos y funcionar en el marco de los límites marcados por el sistema físico-biológico del planeta, nos empeñamos, a mi entender inútilmente, en soluciones que promuevan la situación inversa: que sea el planeta el que se adapte a nosotros. Desde luego, la fe en la tecnología parece haber adquirido tintes de religión. Así, se están desarrollando —algunas con cierto secretismo— investigaciones en el reciente campo de la ingeniería. Una de las que cuenta con mayor predicamento consiste, precisamente, en rociar periódicamente la estratosfera con compuestos de azufre, aprovechando así sus propiedades de contención del calentamiento global y el mayor tiempo de residencia de los aerosoles a esa altura.

La ingeniería será reciente como disciplina científica, pero desde luego llevamos siglos sometiendo el planeta a experimentos geofísicos no controla-

dos, entre los que el empleo de la atmósfera como inmenso vertedero de todo subproducto que no sea sólido o líquido, y las alteraciones masivas en el uso de la tierra (deforestación y fertilización artificial, entre otras), son sólo algunos de los forzamientos globales más conocidos. Mejor sería denominar a estas intervenciones planetarias con el término «contrageoingeniería». En definitiva, la solución de una reducción inmediata de las emisiones y de una reforestación masiva que proponen los científicos liderados por James Hansen es una forma de contrageoingeniería. Podemos denominar *débil* o *benigna* a este tipo de intervención planetaria, por contraposición a las contrageoingenierías *fuertes* (inyección de azufre en la estratosfera, fertilización marina, espejos orbitales, etc.). Todos ellos no son otra cosa que distintos *sistemas de control* del clima de la Tierra.

Hoy por hoy, a nadie en sus cabales se le debería ocurrir la utilización de estas técnicas *fuertes*. Sus inconvenientes superan, con mucho, a sus eventuales ventajas, y no es previsible que se pueda llegar a evitar la aparición de fenómenos inesperados de gran poder destructivo; con el clima global no es posible realizar experimentos previos (Ricke *et al.*, 2010).

Es interesante a este respecto conocer la hipótesis planteada a principios de la pasada década por Walter Ruddiman, que va tomando cuerpo. Este investigador *senior* de la Universidad de Virginia se preguntó por los motivos de la estabilidad climática de los últimos 10.000 años en las condiciones preindustriales, desconocida en toda la historia geológica del planeta, también en los interglaciales anteriores. Ha sido durante este período de estabilidad climática cuando se han desarrollado todas las civilizaciones, lo que difícilmente pudo producirse con anterioridad dados los cambios permanentes de la temperatura y del régimen de lluvias y las continuas variaciones del nivel del mar, del orden de decenas de metros.¹⁰

Hacia un nuevo estado de equilibrio, nada confortable

Uno de los estados de equilibrio de la Tierra parece ser la condición glacial (Lovelock, 2006). Las perturbaciones cíclicas más significativas de la radiación solar que incide sobre la Tierra (y de su distribución) son consecuencia de los cambios en la posición relativa del planeta respecto al Sol, que resultan reforzadas por los cambios subsiguientes en las concentraciones de CO₂ y de metano por ellas inducidos. Este forzamiento, en lo que podemos entender

10. En las edades de hielo el nivel del mar es unos 100 metros inferior al actual.

como un *fallo de regulación*, aparta temporalmente al planeta de esa condición de equilibrio, situación que denominamos «interglacial», en la que nos encontramos.¹¹ Sin embargo, el sistema tiende de forma natural hacia una nueva glaciación una vez restablecidas las condiciones anteriores.

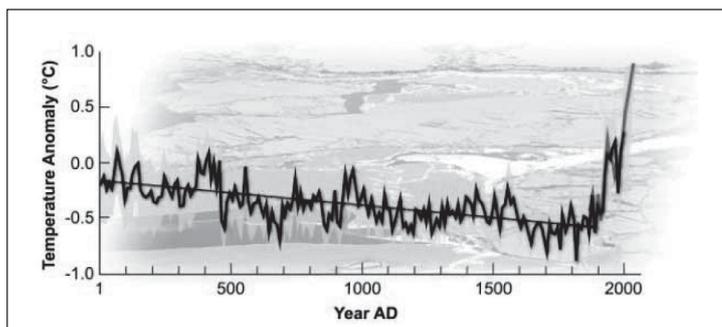
En esas estábamos cuando, al descubrir el fuego y producirse una situación de inseguridad alimentaria, nos dimos cuenta de que era más fácil cazar las fieras incendiando el bosque y situándonos estratégicamente en su trayectoria de huida que ir tras ellas de forma activa. Según Ruddiman, la emisión de gases de efecto invernadero que esa combustión produjo habría detenido temporalmente el proceso natural de reenfriamiento, lo que permitió la sedentarización, la adopción de la agricultura y, con ella, el aumento de la población. Este incremento requirió más campos de cultivo, lo que se conseguía a su vez incendiando más bosques. Más adelante, hace unos 5.000 años, los cultivos de arroz de China, con sus importantes emisiones de metano, un GEI mucho más potente que el CO₂ a efectos climáticos, siguieron manteniendo el clima en una situación estable. Desde entonces no hemos cesado en la deforestación ni en los cultivos, lo cual habría permitido mantener constante la temperatura media de la Tierra. Para mantener este estado, el sistema climático habría sido controlado por la humanidad de forma *totalmente inconsciente* con sólo pequeñas oscilaciones, generalmente regionales, atribuidas a la *variabilidad natural* del sistema alrededor de esta situación (Ruddiman, 2003). Si esta verosímil hipótesis resulta confirmarse, nos informaría de que el confortable estado climático que estamos abandonando no corresponde a punto de equilibrio alguno, sino, simplemente, a un sistema en una situación estable dado que *estaba siendo sometido a control*.

Sin embargo, el desentierro y combustión de la materia fósil habría supuesto un cambio cuantitativo excesivo en la cantidad de dióxido de carbono vertido a la atmósfera, lo que habría detenido el proceso latente de enfriamiento e invertido el proceso. La figura 2 muestra la temperatura en el Ártico en los últimos 2.000 años, cuya evolución confirmaría la hipótesis (Kaufman *et al.*, 2009). Ahora habríamos perdido el control, y el sistema quizá haya adquirido vida propia hacia un nuevo estado de equilibrio, pero ahora más caliente. ¿Cuál sería este nuevo estado de equilibrio?

Habría que remontarse al denominado Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno (MTPE), hace nada menos que 55,9 millones de años. Si bien las condiciones geológicas del momento, desde el punto de vista de la actividad volcáni-

11. Habría que empezar a prescindir de este término, pues la Tierra no volverá nunca más a una condición glacial, salvo que la especie humana desapareciera casi por completo.

Figura 2. Evolución de la temperatura en el Ártico en los últimos 2.000 años. A partir de mediados del siglo XIX se inicia un aumento que altera bruscamente la tendencia al enfriamiento.



Fuente: Kaufman et al. (2008).

ca y la distribución de los continentes, eran bien distintas, el MTPE nos ofrece una situación en la que el planeta está tan caliente que ha perdido todo el hielo de Groenlandia y la Antártida, el nivel del mar es por tanto unos 75 metros superior al actual, y en él se han extinguido alrededor del 50% de las especies, tanto debido a su calentamiento como a su acidificación por disolución de parte de la gran cantidad de CO₂ presente en la atmósfera. Muchos de los restos de caimanes y de otras especies tropicales encontrados en el Ártico son de aquella época (Eberle *et al.*, 2010). Esa situación acabó relativamente *pronto* en términos geológicos, pues duró *sólo* entre 30.000 y 170.000 años (Röhl *et al.*, 2007).

Todo apunta a que podríamos estar dirigiéndonos hacia ese escenario, salvo que encontremos la forma de volver a controlar, ahora de forma consciente, el habitable clima del planeta de los últimos 10.000 años. Si todavía fuera posible, habría que empezar *ahora mismo*.

Finalmente, es preciso darse cuenta no sólo de la intensidad del forzamiento antropogénico actual, sino de su velocidad inaudita. La inyección de carbono en la atmósfera que se dio por aquel entonces, comparable a que se llegaran a quemar todos los combustibles fósiles conocidos (y mucho menos los fósiles no convencionales), se produjo durante un período mucho más largo que el actual, entre 10 y 100 veces más dilatado que el proceso en curso (Ying *et al.*, 2011). Esto nos sitúa en un territorio desconocido en que las consecuencias son prácticamente imposibles de prever (Zachos *et al.*, 2008), pero, desde luego, potencialmente desgarradoras a corto plazo para miles de millones de personas y también para la civilización. En todo caso, esta velocidad de

perturbación hace temer por la estabilidad de las grandes masas de hielo, que de otra forma tardarían milenios en fundirse.

Conclusiones

Las tres proposiciones con las que he iniciado este texto se han revelado inválidas. No es posible estabilizar el clima para que vuelva a las condiciones actuales porque el sistema climático se encuentra en régimen transitorio y todavía no ha respondido a la totalidad del forzamiento al que está siendo sometido. Además, el tiempo de remanencia en la atmósfera del CO₂ emitido, de decenas de miles de años, convierte al cambio climático en curso en irreversible a escalas de tiempo humanas.

Dado que lo que condiciona el clima es la concentración atmosférica de GEI y no las emisiones, la reducción de estas últimas no supone necesariamente disminuir la concentración de CO₂ en la atmósfera, salvo que esa reducción sea prácticamente total y en el plazo de muy poco tiempo y, además, se retire de la atmósfera el exceso actual mediante una reforestación masiva. Finalmente, reducir drásticamente el empleo de combustibles fósiles, sin más, no sólo no produciría una disminución de la temperatura sino que, por el contrario, la reducción concomitante de los aerosoles reflectores produciría un aumento brusco a menos que, paralelamente, se redujeran las emisiones de todos los demás GEI, que suponen algo menos de la mitad del forzamiento positivo total.

Volviendo a la contrageoingeniería en su sentido *fuerte*, cabe preguntarse no sólo por su viabilidad y sus posibles consecuencias imprevisibles, sino también por las complicaciones políticas que supondría tamaña intervención planetaria una vez fuera declarada necesaria como mal menor (¿por quién?), y que dejaría en una mera anécdota la ya inmanejable dificultad de las negociaciones climáticas en curso.

Deberíamos haber aprendido ya que todo desarrollo tecnológico masivo dejado en manos de un grupo de púberes de la civilización desconocedores de los límites —como, inconsciente o inducidamente, somos todos nosotros— acaba generando más problemas que los que resuelve. Así, habrá que decidir entre dos alternativas. Por una parte está el repliegue necesario de la reducción drástica de emisiones y la reforestación, con todas sus consecuencias, pero entre las que está la posibilidad de dar una nueva oportunidad a nuestros descendientes. Por otra, podemos decidir formar parte de la última frontera, con la posibilidad nada desdeñable de acabar extinguiéndonos de éxito tecnológico.

Entretanto, es importante darnos cuenta de la enorme responsabilidad histórica de la generación presente. En los últimos treinta años se ha emitido a la atmósfera una cantidad de GEI equivalente a la mitad de la emitida en toda la historia de la humanidad. Es muy probable que, veinte o treinta años antes del final del siglo pasado, hubiéramos estado a tiempo de encontrar una trayectoria colectiva en términos de emisiones que hubiera impedido llegar hasta aquí, cuando las respuestas ya no pueden ser incrementales y no se producirán, en su caso, sin severos sacrificios; sacrificios que, aunque diferidos, serían inmensamente mayores si no se acometen las respuestas necesarias. En todo caso son diferidos para nosotros, los occidentales, que, por el momento, disponemos de mayores recursos para protegernos. Porque los países «en desarrollo» están ya pagando, con sufrimiento y vidas, la alteración del clima que nosotros hemos provocado. Entretanto, nosotros miramos hacia otro lado y la comunidad mediática se muestra estructuralmente incapaz de conectar los fenómenos a esta causa común.

Que todo esto podía ocurrir se sabe desde hace más de cincuenta años, pues ya el presidente Lyndon B. Johnson advirtió del peligro en el Congreso de Estados Unidos en los años sesenta (Oreskes, 2007). Sin embargo, décadas de negacionismo sofisticadamente organizado y de freno al pensamiento sistémico como elementos de la expansión ultraliberal programada nos han llevado hasta aquí. De confirmarse los peores augurios, esta generación, nuestra generación, no será recordada por sus éxitos tecnológicos, sino como aquella, la del año 2000, que destrozó egoístamente el mejor estado climático conocido en toda la historia de la humanidad. Así seríamos percibidos durante decenas de miles de años.

Stephen Gardiner, catedrático de filosofía de la Universidad de Washington (Seattle) y especialista en las cuestiones éticas con las que nos enfrenta el cambio climático, señala:

Hemos creado un problema vital. Rehusamos obstinadamente hacerle frente. Hacemos todo lo posible por diferir la respuesta. Imponemos cargas a los demás. Confundimos conceptos insistiendo en soluciones incrementales. ¿Qué tipo de gente haría algo así? [Gardiner, 2010].

Hoy, sin embargo, ya no podemos alegar ignorancia. En el caso de que decidiéramos actuar para evitar este panorama, entiendo que el lector intuye la magnitud y la dificultad de la empresa y de sus consecuencias colaterales. También le ruego que vaya pensando en las consecuencias que se derivarían del simple hecho de darnos cuenta, en breve plazo, de que ya no estamos a tiempo de nada, cualquiera que sea el esfuerzo.

Referencias

- ANDREAE, Meinrat O. *et al.* (2005): «Strong present-day aerosol cooling implies a hot future», *Nature*, 435: 1.187-1.190; doi: 10.1038/nature03671; publicado online: 30.06.2005; Max Planck Institute for Chemistry, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Centre for Ecology and Hydrology; http://irina.eas.gatech.edu/EAS_spring2006/Andrae2005.pdf; 3 autores. «*Strong aerosol cooling in the past and present would then imply that future global warming may proceed at or even above the upper extreme of the range projected by the Intergovernmental Panel on Climate Change.*»
- ARMOUR, K. C. y G. H. ROE (2011): «Climate commitment in an uncertain world», *Geophysical Research Letters*, 38, L01707; doi: 10.1029/2010GL045850; Department of Physics, Department of Earth and Space Sciences, Universidad de Washington, Seattle; http://earthweb.ess.washington.edu/roe/GerardWeb/Publications_files/ArmourRoe_committed_draft.pdf. «*Studies of the climate commitment due to CO₂ find that global temperature would remain near current levels, or even decrease slightly, in the millennium following the cessation of emissions. However, this result overlooks the important role of the non-CO₂ greenhouse gases and aerosols. This paper shows that global energetics require an immediate and significant warming following the cessation of emissions as aerosols are quickly washed from the atmosphere, and the large uncertainty in current aerosol radiative forcing implies a large uncertainty in the climate commitment.*»
- BUDZIANOWSKI, Wojciech M. (2011): «Time delay of global warming», *International Journal of Global Warming*, 3: 289-306; doi: 10.1504/IJGW.2011.043424; publicado online: octubre de 2011; Universidad Tecnológica de Wrocław. «*Thermal response of Earth's climate to atmospheric GHGs is delayed in time. The magnitude of time delay can significantly exceed several decades, while current thermal imbalance of Earth is likely to amount 0.6 K but it can increase to 5 K by 2100.*»
- CANADELL, Josep G. *et al.* (2007): «Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks», *Proceedings of the National Academy of Sciences PNAS*, 104: 18.866-18.870; doi: 10.1073/pnas.0702737104; publicado online: 20.11.2007; Global Carbon Project, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Marine and Atmospheric Research; www.pnas.org/content/104/47/18866.full.pdf; 10 autores. «*The growth rate of atmospheric carbon dioxide (CO₂), the largest human contributor to human-induced climate change, is increasing rapidly. Three processes contribute to this rapid increase. Two of these processes concern emissions. Recent growth of the world economy combined with an increase in its carbon intensity have led to rapid growth in fossil fuel CO₂ emissions since 2000: comparing the 1990s with 2000-2006, the emissions growth rate increased from 1.3% to 3.3%^{y⁻¹}. The third process is indicated by increasing evidence (P = 0.89) for a long-term (50-year) increase in the airborne fraction (AF) of CO₂ emissions, implying a decline in the efficiency of CO₂ sinks on land and oceans in absorbing anthropogenic emissions.*»
- EBERLE, Jaelyn J. *et al.* (2010): «Seasonal variability in Arctic temperatures during early Eocene time», *Earth and Planetary Science Letters*, 296: 481-486; doi: 10.1016/j.epsl.2010.06.005; University of Colorado Museum of Natural History

and Department of Geological Sciences; www2.coloradocollege.edu/dept/gy/henry_pdfs/Eberle%20et%20al.%202010.pdf; 6 autores. «*From a paleontologic perspective, our temperature estimates verify that alligators and tortoises, by way of nearest living relative-based climatic inference, are viable paleoclimate proxies for mild, above-freezing year-round temperatures. Although for both of these reptilian groups, past temperature tolerances probably were greater than in living descendants.*»

- EBY, M. *et al.* (2009): «Lifetime of Anthropogenic Climate Change: Millennial Time Scales of Potential CO₂ and Surface Temperature Perturbations», *Journal of Climate*, 22: 2.501-2.511; doi: 10.1175/2008JCLI2554.1; http://geosci.uchicago.edu/~archer/reprints/eby.2009.long_tail.pdf. «*This suggests that the consequences of anthropogenic CO₂ emissions will persist for many millennia.*»
- GARDINER, Stephen M. (2010): «Ethics and climate change: an introduction», WIREs Climate Change; doi: 10.1002/wcc.26; Department of Philosophy and Program on Values in Society, Universidad de Washington. «*If the decision to pursue geoengineering is made in the context of serious inertia on mitigation and adaptation for climate change, and a more general indifference to global environmental problems, the claim is that this reflects badly on the particular societies and generations who make that decision and perhaps on humanity as such. On one way of looking at things, having created a problem, we are obstinately refusing to face it in a serious way, but instead doing whatever we can to defer action, impose the burden on others, and obfuscate matters by arguing that we must hold out for a less demanding solution (however unrealistic that may be). What kind of people would do such a thing?*»
- GOUGH, Clair y Paul UPHAM (2011): «Biomass energy with carbon capture and storage (BECCS or Bio-CCS)», *Greenhouse Gases: Science and Technology*; publicado online: 13.10.2011; Universidad de Manchester. «*To put these figures in context, the total CO₂ emissions from large point sources in the UK (2005) was 258 MTCO₂ [ref] equivalent to storage capacity for CO₂ captured from domestic point sources for a period which could be in the order of 60 years. Storage capacity estimates for Europe as a whole are 117Gt CO₂.*»
- HANSEN, James (2009): *Storms of My Grandchildren: The Truth About the Coming Climate Catastrophe and Our Last Chance to Save Humanity*, Bloomsbury, Nueva York; publicado online: 1.12.2010; NASA Goddard Institute for Space Studies y Columbia University Earth Institute; www.stormsofmygrandchildren.com. «*The paleoclimate record does not provide a case with a climate forcing of the magnitude and speed that will occur if fossil fuels are all burned. Models are nowhere near the stage at which they can predict reliably when major ice sheet disintegration will begin. Nor can we say how close we are to methane hydrate instability. But these are questions of when, not if. If we burn all the fossil fuels, the ice sheets almost surely will melt entirely, with the final sea level rise about 75 meters (250 feet), with most of that possibly occurring within a time scale of centuries.*»
- HANSEN, James *et al.* (2005): «Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications», *Science*, 308: 1.431-1.435; doi: 10.1126/science.1110252; publicado online: 3.6.2005; NASA Goddard Institute for Space Studies y Columbia University Earth Institute; <http://meteora.ucsd.edu/cap/pdf/Hansen-04-29->

05.pdf; 15 autores. «*This imbalance is confirmed by precise measurements of increasing ocean heat content over the past 10 years. Implications include (i) the expectation of additional global warming of about 0.6 °C without further change of atmospheric composition; (ii) the confirmation of the climate system's lag in responding to forcings, implying the need for anticipatory actions to avoid any specified level of climate change; and (iii) the likelihood of acceleration of ice sheet disintegration and sea level rise.*»

HANSEN, James *et al.* (2008): «Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim?», *The Open Atmospheric Science Journal*, 2: 217-231; publicado online: 1.2.2008; NASA Goddard Institute for Space Studies y Columbia University Earth Institute; http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2008/2008_Hansen_etal.pdf; 10 autores. «*If humanity wishes to preserve a planet similar to that on which civilization developed and to which life on Earth is adapted, paleoclimate evidence and ongoing climate change suggest that CO₂ will need to be reduced from its current 385 ppm to at most 350 ppm, but likely less than that. The largest uncertainty in the target arises from possible changes of non-CO₂ forcings. An initial 350 ppm CO₂ target may be achievable by phasing out coal use except where CO₂ is captured and adopting agricultural and forestry practices that sequester carbon. If the present overshoot of this target CO₂ is not brief, there is a possibility of seeding irreversible catastrophic effects.*»

HANSEN, James *et al.* (2011a): «Earth's Energy Imbalance and Implications»; publicado online: 26.8.2011; NASA Goddard Institute for Space Studies y Columbia University Earth Institute; <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1105/1105.1140.pdf>; 14 autores. «*Sea level may have been a few meters higher than today in some of those periods [ref]. In contrast, sea level was 25-35 m higher the last time that the Earth was 2-3 °C warmer than today, i.e., during the Middle Pliocene about three million years ago [ref].*»

HANSEN, James *et al.* (2011b): «The Case for Young People and Nature: A Path to a Healthy, Natural, Prosperous Future», *draft paper*; publicado online: 4.5.2011; Columbia University Earth Institute, Nueva York; www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2011/20110505_CaseForYoungPeople.pdf; 14 autores. «*The conclusion is that global warming of 1 °C relative to 1880-1920 mean temperature (i.e., 0.75 °C above the 1951-1980 temperature or 0.3 °C above the 5-year running mean temperature in 2000), if maintained for long, is already close to or into the 'dangerous' zone. The suggestion that 2 °C global warming may be a 'safe' target is extremely unwise based on critical evidence accumulated over the past three decades. Global warming of this amount would be putting Earth on a path toward Pliocene-like conditions, i.e., a very different world marked by massive and continual disruptions to both society and ecosystems.*»

HEINBERG, Richard (2009): «Searching for a Miracle: Net Energy Limits & the Fate of Industrial Society», *Forum on Globalisation & The Post Carbon Institute*, Post Carbon Institute; www.postcarbon.org/new-site-files/Reports/Searching_for_a_Miracle_web10nov09.pdf. «*The scale of denial is breathtaking. For as Heinberg's analysis makes depressingly clear, there will be NO combination of alternative energy solutions that might enable the long term continuation of economic growth, or of industrial societies in their present form and scale. Ultimately the solutions we desperately seek will not come from ever-greater technical genius and*

innovation. Far better and potentially more successful pathways can only come from a sharp turn to goals, values, and practices that emphasize conservation of material and energy resources, localization of most economic frameworks, and gradual population reduction to stay within the carrying capacities of the planet.»

- KAUFMAN, Darrell S. et al. (2009): «Recent Warming Reverses Long-Term Arctic Cooling», *Science*, 325: 1.236-1.239; doi: 10.1126/science.1173983; publicado online: 4.9.2009; School of Earth Sciences and Environmental Sustainability, Universidad de Northern Arizona; <http://www.sciencemag.org/content/325/5945/1236.full.pdf>; 11 autores. «The cooling trend was reversed during the 20th century, with four of the five warmest decades of our 2000-year-long reconstruction occurring between 1950 and 2000.»
- LIEPERT, Beate G. (2002): «Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990», *Geophysical Research Letters*, 29: 1.421; doi: 10.1029/2002GL014910; publicado online: 24.5.2002; Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University; http://stephens-chneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/Liepert2002.pdf. «Surface solar radiation revealed an estimated 7 W/m² or 4% decline at sites worldwide from 1961 to 1990. Here I find that the strongest declines occurred in the United States sites with 19 W/m² or 10%.»
- LOVELOCK, James (2006): *La venjança de Gaia*, Columna Edicions, Barcelona. «Si el sistema de la Terra, Gaia, pogués expressar alguna preferència, seria per la fredor d'una era glacial, no pas per la relativa calor actual.»
- MATTHEWS, H. D. y Ken CALDEIRA (2008): «Stabilizing climate requires near-zero emissions», *Geophysical Research Abstracts*, 10 EGU2008-A-08242 ID:1607-7962/gra/EGU2008-A-08242; publicado online: 27.2.2008; Department of Geography, Planning and Environment, Concordia University; Department of Global Ecology, Carnegie Institution of Washington, Stanford; www.see.ed.ac.uk/~shs/Climate%20change/Geo-politics/Mathews_Caldeira%20zero%20carbon.pdf. «To hold climate constant at a given global temperature requires near-zero future carbon emissions ... future anthropogenic emissions would need to be eliminated in order to stabilize global-mean temperatures ... any future anthropogenic emissions will commit the climate system to warming that is essentially irreversible on centennial timescales.»
- MORIARTY, Patrick y Damon HONNERY (2011): «Is there an optimum level for renewable energy?», *Energy Policy*, 39: 2.748-2.753; doi: 10.1016/j.enpol.2011.02.044; Department of Design, Monash University-Caulfield Campus; Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Monash University-Clayton Campus. «In all three studies, the idea is that there is an optimum level of activity beyond which the ecosystem services freely provided by the natural world are compromised; the optimum number of Earths that can be sustainably used is 1.0; the optimum level of groundwater use might be the level, which can be annually sustained by recharge. We argue in this paper that diversion of Earth's energy flows to satisfy humanity's energy needs is also subject to an upper limit—that there is an optimum level of RE use.»
- ORESQUES, Naomi, «The Long Consensus on Climate Change», *The Washington Post*, 1.2.2007; www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/01/31/AR2007013101808.html. «In a special message to Congress in February 1965,

President Lyndon B. Johnson noted: "This generation has altered the composition of the atmosphere on a global scale through . . . a steady increase in carbon dioxide from the burning of fossil fuels." A second warning came in 1966 ... geophysicist Gordon MacDonald, who later served on President Richard Nixon's Council on Environmental Quality ... MacDonald's committee concluded that increased carbon dioxide might also lead to "inadvertent weather modification." In 1978, Robert M. White ... later president of the National Academy of Engineering, put it this way: "carbon dioxide released ... can have consequences for climate that pose a considerable threat to future society".»

- PARRISH, David D. y TONG Zhu (2009): «Clean Air for Megacities», *Science*, 326: 674-675; doi: 10.1126/science.1176064; Chemical Sciences Division, Earth System Research Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration. «On balance, particulate matter in the atmosphere is believed to presently compensate for a large fraction of the warming effects of greenhouse gases, but there is large uncertainty in our understanding of its net climate effects and on the different time and space scales on which particulate matter affects climate.»
- RAMANATHAN, Veerabhadran y Y. FENG (2008): «On avoiding dangerous anthropogenic interference with the climate system: Formidable challenges ahead», *Proceedings of the National Academy of Sciences PNAS*, 105: 14.245-14.250; doi: 10.1073/pnas.0803838105; Scripps Institution of Oceanography, Universidad de California en San Diego; <http://scrippsnews.ucsd.edu/Releases/doc/zpq038084771p.pdf>. «The estimated warming of 2.4 °C (1.4 °C to 4.3 °C) is the equilibrium warming above preindustrial temperatures that the world will observe even if GHG concentrations are held fixed at their 2005 concentration levels but without any other anthropogenic forcing such as the cooling effect of aerosols ... Even the most aggressive CO2 mitigation steps as envisioned now can only limit further additions to the committed warming, but not reduce the already committed GHGs warming of 2.4 °C.»
- RICKE, Katharine L. *et al.* (2010): «Regional climate response to solar-radiation management», *Nature Geoscience*, 3: 537-541; doi: 10.1038/ngeo915; publicado online: 18.7.2010. «Hence, it may not be possible to stabilize the climate in all regions simultaneously using solar-radiation management. Regional diversity in the response to different levels of solar-radiation management could make consensus about the optimal level of geoengineering difficult, if not impossible, to achieve.»
- RÖHL, Ursula *et al.* (2007): «On the duration of the Paleocene-Eocene thermal maximum (PETM)», *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8, Q12002; doi: 10.1029/2007GC001784; Center for Marine Environmental Sciences (MARUM), Universidad de Bremen; www.es.ucsc.edu/~jzachos/pubs/Roehl_etal_07.pdf; 4 autores. «The lower portion of the PETM which includes the dissolution phase and lower recovery interval contains 5 precession cycles, while the upper recovery interval contains 3.5 cycles. The total duration of the PETM is now estimated to be 170 ka, roughly mid-way between previous estimates based on cycle stratigraphy and He isotopes.»
- RUDDIMAN, William F. (2003): «The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago», *Climatic Change*, 61: 261-293; doi: 10.1023/B:CLIM.0000004577.17928.fa; Department of Environmental Sciences, Universidad de Virginia; http://stephenschneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/Ruddiman2003.pdf. «The

anthropogenic era is generally thought to have begun 150 to 200 years ago, when the industrial revolution began producing CO₂ and CH₄ at rates sufficient to alter their compositions in the atmosphere. A different hypothesis is posed here: anthropogenic emissions of these gases first altered atmospheric concentrations thousands of years ago. This hypothesis is based on three arguments.»

- «SCIENCE DAILY» (2010): «Baltic Sea Contributes Carbon Dioxide to the Atmosphere, Study Shows»; publicado online: 10.10.2010; www.sciencedaily.com/releases/2011/10/111010074858.htm. «*The capacity of the Baltic Sea to absorb carbon dioxide without major changes to the acidity of the water has changed in recent centuries. In the Bay of Bothnia, the ability to resist change has fallen, while it has increased in the south-eastern parts of the Baltic Sea,*» says Karin Wesslander of the Department of Earth Sciences at the University of Gothenburg.»
- SHAEPER, Kevin *et al.* (2011): «Amount and timing of permafrost carbon release in response to climate warming», *Tellus B*; doi: 10.1111/j.1600-0889.2011.00527.x; publicado online: 15.2.2011; National Snow and Ice Data Center, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, Universidad de Colorado; 4 autores; *peer reviewed*. «*By 2200, we predict a 29-59% decrease in permafrost area and a 53-97 cm increase in active layer thickness. By 2200, the PCF strength in terms of cumulative permafrost carbon flux to the atmosphere is 190 ± 64 Gt C. This estimate may be low because it does not account for amplified surface warming due to the PCF itself and excludes some discontinuous permafrost regions where SiBCASA did not simulate permafrost. We predict that the PCF will change the arctic from a carbon sink to a source after the mid-2020s and is strong enough to cancel 42-88% of the total global land sink. The thaw and decay of permafrost carbon is irreversible and accounting for the PCF will require larger reductions in fossil fuel emissions to reach a target atmospheric CO₂ concentration.*»
- SHINDELLET, Drew T. *et al.* (2009): «Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions», *Science*, 326: 716-718; doi: 10.1126/science.1174760; publicado online: 30.10.2009; NASA Goddard Institute for Space Studies y Columbia University; 6 autores. «*We found that gas-aerosol interactions substantially alter the relative importance of the various emissions. In particular, methane emissions have a larger impact than that used in current carbon-trading schemes or in the Kyoto Protocol.*»
- SOLOMON, Susan *et al.* (2008): «Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions», *Proceedings of the National Academy of Sciences PNAS*, 106: 10.933-10.938; doi: 10.1073/pnas.0812721106; Chemical Sciences Division, Earth System Research Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration; www.pnas.org/content/early/2009/01/28/0812721106.full.pdf+html; 4 autores. «*The climate change that takes place due to increases in carbon dioxide concentration is largely irreversible for 1.000 years after emissions stop.*»
- STEHFEST, Elke *et al.* (2008): «Climate benefits of changing diet», *Climatic Change*, 95: 83-102; doi: 10.1007/s10584-008-9534-6; publicado online: 4.2.2009; Netherlands Environmental Assessment Agency, Global Sustainability and Climate; <http://dels.nas.edu/resources/static-assets/banr/AnimalProductionMaterials/StehfestClimate.pdf>; 6 autores. «*A global transition to a low meat-diet as*

recommended for health reasons would reduce the mitigation costs to achieve a 450 ppm CO₂-eq. stabilisation target by about 50% in 2050 compared to the reference case.»

- STERMAN, John D. (2011): «Communicating climate change risks in a skeptical world», *Climatic Change*, doi: 10.1007/s10584-011-0189-3; publicado online: 18.8.2011; MIT Sloan School of Management; www.erb.umich.edu/Research/ColloquiaDocs/StermanClimaticChange2011.pdf. «*People routinely ignore or underestimate time delays (Sterman 1989, 2000; Buehler et al. 2002). Underestimating time delays leads people to believe, wrongly, that it is prudent to “wait and see” whether a potential environmental risk will actually cause harm.»*
- STERMAN, John D. y Linda Booth SWEENEY (2007): «Understanding Public Complacency about Climate Change: Adults’ mental models of climate change violate conservation of matter», *Climatic Change*, 80: 213-238; publicado online: 9.1.2007; MIT Sloan School of Management; <http://web.mit.edu/jsterman/www/StermanSweeney.pdf>. «*Low public support for mitigation policies may be based more on misconceptions of climate dynamics than high discount rates or uncertainty about the risks of harmful climate change.»*
- TRAINER, Ted (2010): «Can renewables etc. solve the greenhouse problem? The negative case», *Energy Policy*, 38: 4.107-4.114; doi: 10.1016/j.enpol.2010.03.037; publicado online: 7.5.2010; Social Work, University of NSW, Australia; http://jayhanson.us/_Energy/TrainerRenewables.pdf. «*Virtually all current discussion of climate change and energy problems proceeds on the assumption that technical solutions are possible within basically affluent-consumer societies. There is however a substantial case that this assumption is mistaken. This case derives from a consideration of the scale of the tasks and of the limits of non-carbon energy sources, focusing especially on the need for redundant capacity in winter. The first line of argument is to do with the extremely high capital cost of the supply system that would be required, and the second is to do with the problems set by the intermittency of renewable sources. It is concluded that the general climate change and energy problem cannot be solved without large scale reductions in rates of economic production and consumption, and therefore without transition to fundamentally different social structures and systems.»*
- TRENBERTH, Kevin E. et al. (2007): «Observations: Surface and Atmospheric Climate Change», en *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; 12 autores. «*Note that for shorter recent periods, the slope is greater, indicating accelerated warming.»*
- UNION OF CONCERNED SCIENTISTS (2011): «International Scientists and Economists Statement on Biofuels and Land Use», www.ucsusa.org/global_warming/solutions/forest_solutions/EU-ILUC-Letter.html. «*Nearly 200 scientists and economists with Ph.D.s and expertise related to climate, energy, and land use have signed on to the International Scientists and Economists Statement on Biofuels and Land Use to urge the European Commission to recognize and account for indirect land use change impacts as a part of the lifecycle analyses of heat-trapping emissions from biofuels.»*
- UPHAMA, Paul y Thomas ROBERTS (2011): «Public perceptions of CCS: emergent themes in pan-European focus groups and implications for communications», *International*

Journal of Greenhouse Gas Control, 5: 1.359-1.367; doi: 10.1016/j.ijggc.2011.06.005; publicado online: 6.7.2011; Centre for Integrated Energy Research, Universidad de Leeds (Reino Unido), Finnish Environment Institute (Helsinki) y Manchester Institute of Innovation Research and Tyndall Manchester, Universidad de Manchester. «*This paper reports on European public perceptions of carbon capture and storage (CCS) as determined through six focus groups, one held in each of the UK, the Netherlands, Poland, Germany, Belgium and Spain ... CCS was generally perceived as an uncertain, end-of-pipe technology that will perpetuate fossil-fuel dependence. Noting the political context to CCS, we conclude that advocates will likely find the European public opinion context a challenging one in which to achieve deployment, particularly for onshore storage, except where local communities perceive real economic or other benefits to CCS.*»

VILAR, Ferran P. (2009a): «La certeza matemática del 5 °C del *Titanic*», *Usted no se lo cree*, 2.11.2009; <http://ustednoselocree.com/2009/11/02/la-certeza-matematica-del-5cuarto-camarote-del-titanic/>.

VILAR, Ferran P. (2009b): «Por qué, probablemente, usted no se lo cree», *Usted no se lo cree*, 24.11.2009; <http://ustednoselocree.com/2009/11/24/por-que-usted-probablemente-no-se-lo-cree/>.

WAGENAAR, William A. y Sabato D. SAGARIA (1975): «Misperception of exponential growth», *Attention, Perception, & Psychophysics*, 18: 416-422; doi: 10.3758/BF03204114; Institute for Perception TNO, Soesterberg; Pennsylvania State University. «*Exponential growth in numerical series and graphs is grossly underestimated in an intuitive extrapolation task ... The size of the effect is considerable; it is not unusual that two-thirds of the subjects produce estimates below 10% of the normative value. The effect increases with the exponent of the stimulus series, and with addition of a constant to the stimulus series. Neither special instructions about the nature of exponential growth nor daily experience with growth processes enhanced the extrapolations.*»

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (1995): «Special Report. Scenario for the derivation of global CO2 reduction targets and implementation strategies», WBGU (Consejo Asesor del Cambio Global); Statement on the occasion of the First Conference of the Parties to the Framework Convention on Climate Change in Berlin; www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn1995/wbgu_sn1995_engl.pdf. «*In our scenario, a mean value for the burden on global society of 5% of GGP is taken as the maximum tolerable limit (to the extent that this burden can be expressed in monetary terms) ... the extreme reduction requirements that arise after approx. 30 years would then exceed the elasticity of the world economic system.*»

WILD, Martin (2011): «Enlightening Global Dimming and Brightening», *Bulletin of the American Meteorological Society*, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00074.1; publicado online: 8.7.2011; ETH Zurich, Institute for Atmospheric and Climate Science. «*The present synthesis provides in a nutshell the main characteristics of this phenomenon, a conceptual framework for its causes, and an overview over potential environmental implications. Latest developments and remaining gaps of knowledge in this rapidly growing field of research are further highlighted.*»

- YING Cui *et al.* (2011): «Slow release of fossil carbon during the Palaeocene-Eocene Thermal Maximum», *Nature Geoscience*, DOI:10.1038/ngeo1179; publicado online: 5.6.2011; Department of Geosciences, Pennsylvania State University; 9 autores. «*The transient global warming event known as the Palaeocene-Eocene Thermal Maximum occurred about 55.9 Myr ago... Our simulations show that the peak rate of carbon addition was probably in the range of 0.3-1.7 Pg C yr⁻¹, much slower than the present rate of carbon emissions.*»
- ZACHOS, James C. *et al.* (2008): «An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics», *Nature*, 451: 279-283; doi: 10.1038/nature06588; Supplement; 3 autores. «*If fossil-fuel emissions continue unabated, in less than 300 years pCO₂ will reach about 1,800 ppmv, a level not present on Earth for roughly 50 million years. Both the magnitude and the rate of rise complicate the goal of accurately forecasting how the climate will respond.*»

La transición alimentaria y agrícola*

RICHARD HEINBERG Y MICHAEL BOMFORD

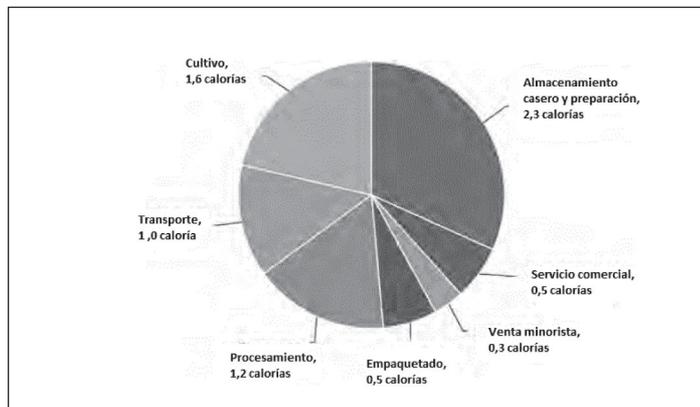
1. Por qué la transición es obligatoria

Durante el pasado siglo la producción anual mundial agrícola se ha más que triplicado. Este logro sin precedentes en la búsqueda de seguridad y abundancia alimentarias por parte de la humanidad fue posible en gran parte gracias al desarrollo de fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas, a nuevas variedades híbridas de cultivos, a la aplicación de la irrigación en regiones áridas y a la introducción de la maquinaria agrícola. Un elemento crucial de estas estrategias para intensificar la productividad agrícola fueron los combustibles fósiles, especialmente el petróleo y el gas natural. El gas natural proporciona el hidrógeno y la energía utilizados para producir la mayor parte de los fertilizantes nitrogenados, y ambos, el gas y el petróleo, son las fuentes de otros productos químicos agrícolas, incluidos los pesticidas y los herbicidas. Por otra parte, el petróleo es el combustible que utiliza la mayor parte de la maquinaria agrícola (en la que a menudo se incluyen las bombas de irrigación), y ha permitido un crecimiento del volumen y de la distancia de transporte de los insumos agrarios y las cosechas. Hoy en día, los productos alimenticios se distribuyen por todo el mundo y enormes cantidades de alimentos se transportan de forma rutinaria de zonas de abundancia a zonas de escasez, lo que ha permitido construir ciudades en los desiertos.

*Traducción del original «The Food and Farming Transition: Toward a Post-Carbon Food System» (2009), editado por el Post Carbon Institute (www.postcarbon.org) en colaboración con The Soil Association. Richard Heinberg es un investigador y colaborador del Post Carbon Institute y autor de numerosos ensayos sobre energía, economía y ecología. Michael Bomford es un científico especializado en agricultura sostenible y orgánica y profesor adjunto del Departamento de Horticultura de la Universidad Estatal de Kentucky. Traducido por Carlos Valmaseda.

Esta aplicación de los combustibles fósiles al sistema alimentario ha permitido el crecimiento de la población mundial de menos de dos mil millones a principios del siglo xx a cerca de siete mil millones en la actualidad. Durante este proceso, la forma en que nos hemos alimentado ha cambiado profundamente. Sobre todo en los países industrializados, el sistema alimentario se ha vuelto más articulado (tiene más componentes básicos) y más centralizado. Hoy, en muchos países los campesinos constituyen una parte mucho más pequeña de la población, y normalmente trabajan extensas parcelas de tierra. Suelen vender sus cosechas a distribuidores o procesadores que después venden alimentos empaquetados a un mayorista, quien a su vez vende estos productos a cadenas de supermercados. El consumidor final de los alimentos está por tanto alejado varios pasos del productor, y los sistemas alimentarios de la mayoría de los países o regiones están dominados por unas pocas multinacionales gigantes dedicadas a comercializar semillas, empresas de productos químicos agrícolas y fabricantes de maquinaria agrícola, así como por mayoristas de alimentos, distribuidoras y cadenas de supermercados. En EE.UU., el proceso de transportar los alimentos de la granja al plato utiliza cuatro veces más energía que la propia producción agrícola (figura 1).

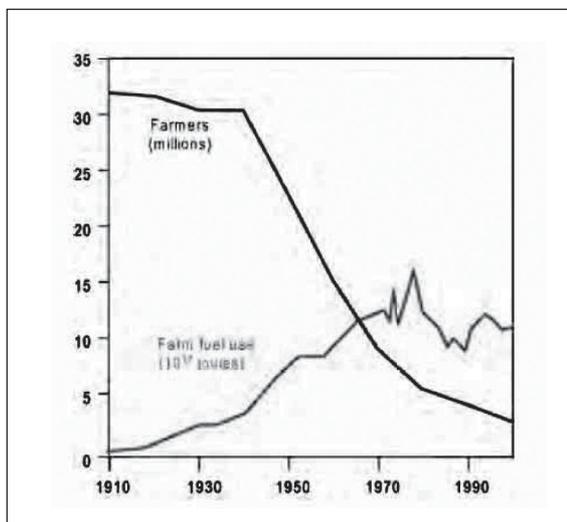
Figura 1
Energía gastada en producir y distribuir una caloría alimentaria.
En el sistema alimentario estadounidense se usan aproximadamente
7,3 calorías para distribuir cada caloría de energía alimentaria.
La actividad agrícola supone menos del 20% de este gasto,
pero aun así consume más energía que la que proporciona.



Fuente: adaptado de Heller y Keoleian (2000).

La agricultura también está mucho más mecanizada. Máquinas que funcionan con combustible aran, cultivan, cosechan, ordenan, procesan y distribuyen los alimentos. La práctica eliminación de la fuerza muscular humana y animal en el sistema alimentario ha reducido los costes de producción y ha aumentado la productividad del trabajo, lo que significa que se necesitan muchos menos campesinos como porcentaje de la población activa (figura 2).

Figura 2
Población agraria estadounidense y consumo directo de combustible, 1910-2000. El consumo directo agrícola de combustible incluye solamente los carburantes utilizados en las granjas. Al menos una cantidad similar se utiliza para producir insumos agrícolas, como fertilizantes nitrogenados, pesticidas y plásticos. Ambos consumos, el directo y el indirecto, llegaron a su cenit en 1979 (Cleveland, 1995; Miranowski, 2004).



Los insumos agrícolas también han cambiado. Hace un siglo, los granjeros guardaban las semillas de un año para otro, mientras que las mejoras del suelo procedían probablemente de la propia granja en forma de estiércol animal (aunque en muchos casos éste se importaba de fuera). Los granjeros también compraban los aperos básicos, más algunos materiales accesorios como lubricantes. En cambio, el granjero industrial de hoy depende de un conjunto de productos empaquetados (semillas, fertilizantes, pesticidas, herbicidas, piensos y antibióticos), así como de combustibles, máquinas que consumen

energía y repuestos. El desembolso anual en efectivo puede ser muy grande, lo cual obliga a los granjeros a pedir cuantiosos préstamos.

Desde el punto de vista energético, la industrialización constituye una inversión paradójica. Antes de la revolución industrial, la agricultura y la silvicultura eran los productores primarios netos de energía de la sociedad, mientras que hoy el sistema alimentario es un consumidor neto de energía en prácticamente todos los países; esto es así sobre todo en los países industriales, donde cada caloría de energía alimentaria producida y transportada hasta la mesa representa una inversión media de alrededor de 7,3 calorías de insumos de energía (figura 1).

Crear y mantener sistemas alimentarios consumidores de energía neta sólo ha sido posible gracias al desarrollo de los métodos para extraer y utilizar combustibles fósiles, un regalo de la naturaleza a la humanidad que se produce una sola vez en la vida, representado por fuentes de energía de un bajo coste y una abundancia sin precedentes.

Los beneficios de la producción y distribución alimentaria industrial (es decir, basada en los combustibles fósiles) son fáciles de ver: nuestro sistema alimentario moderno nos proporciona productos que son baratos y abundantes. En 2005, por ejemplo, la familia media estadounidense gastó menos de un 12% de sus ingresos en alimentación, mientras que hace cincuenta años ese porcentaje era alrededor del doble. Los alimentos exóticos se encuentran fácilmente en los supermercados, cuyas estanterías contienen miles de productos alimentarios distintos. Las hambrunas, que solían ser comunes en todo el mundo, han desaparecido en la mayoría de los países. El hambre, que todavía existe, se debe casi siempre a la incapacidad para conseguir suficiente dinero para comprar alimentos más que a una escasez absoluta.

Una bendición con sus pros y sus contras

Sin embargo, este enorme beneficio tiene un coste. De todas las actividades humanas, la agricultura se podría decir que ha sido la fuente de mayor impacto humano sobre el medio ambiente. Los residuos líquidos de los fertilizantes han llevado a la proliferación de zonas muertas oceánicas que se han diseminado a partir de las bocas de los ríos; la búsqueda de más tierra cultivable ha llevado a una amplia deforestación; la irrigación ha causado la salinización de los suelos; la contaminación del aire y del agua por pesticidas y herbicidas ha afectado negativamente a la salud de los humanos, así como a la de miles de especies vegetales y animales, y la simplificación de los ecosistemas para el desarrollo de monocultivos ha exacerbado la pérdida que se está produciendo de hábitats para aves, anfibios, mamíferos e insectos beneficiosos (Green *et al.*, 2005). Asimismo, la agricultura contribuye al cam-

bio climático, principalmente a través de la degradación de los suelos, que libera a la atmósfera carbono almacenado en el suelo en forma de dióxido de carbono, pero también mediante la combustión de combustibles fósiles (EPA, 2008). A su vez, el cambio climático tiene un impacto negativo sobre la agricultura a través de fenómenos meteorológicos extremos, estaciones alteradas y cambios en las pautas de las precipitaciones.

Por otra parte, la industrialización del sistema alimentario ha disminuido la calidad de los alimentos (Davis, 2009). Centenares de millones de personas pobres, de clase media e incluso ricas de los países industrializados padecen malnutrición, a menudo oculta y a veces acompañada, paradójicamente, de obesidad como resultado del consumo de alimentos muy procesados y con pocos nutrientes esenciales. Cuatro de las principales causas de defunción en estos países —enfermedades cardíacas, accidentes cardiovasculares, diabetes tipo 2 y cáncer— son enfermedades crónicas relacionadas con la dieta.

La agricultura industrializada ha reconfigurado la economía mundial de tal modo que ha ayudado a algunos pero ha perjudicado a muchos otros. Los campesinos pobres que no pueden permitirse máquinas, combustibles e insumos agrícolas se encuentran a menudo en desventaja en la economía alimentaria global, situación agravada por las políticas agrarias de los países industrializados exportadores de alimentos, que subvencionan a sus productores e inundan con sus excedentes los países pobres, creando así más desventajas económicas para los pequeños productores. El resultado de todo ello ha sido la expulsión sistemática de millones de pequeños productores, la priorización (en los países menos industrializados) de la producción para la exportación y la creación de una clase urbana pobre y sin tierra (cuyos antepasados inmediatos eran campesinos de subsistencia) que está crónicamente mal nutrida y hambrienta.

Al mismo tiempo, el sistema alimentario centralizado y mecanizado basado en los combustibles fósiles ha tenido un impacto psicosocial más sutil pero, no obstante, significativo. Los habitantes de las ciudades modernas se alienan progresivamente de sus fuentes alimentarias y, por tanto, compran alimentos empaquetados y muy procesados sin ser demasiado conscientes de las consecuencias que su consumo tiene para la salud o de los costes medioambientales que su producción genera. Estas últimas tendencias han provocado una respuesta bajo la forma de los movimientos —en auge— de «comida lenta» (*Slow Food*), que buscan reconstruir los vínculos entre comida, cultura y lugar.

Pese a todo, el mayor coste potencial fruto de la industrialización de la agricultura se puede hallar en la extrema vulnerabilidad de todo el sistema ante el agotamiento mundial de los combustibles fósiles.

El dilema del agotamiento

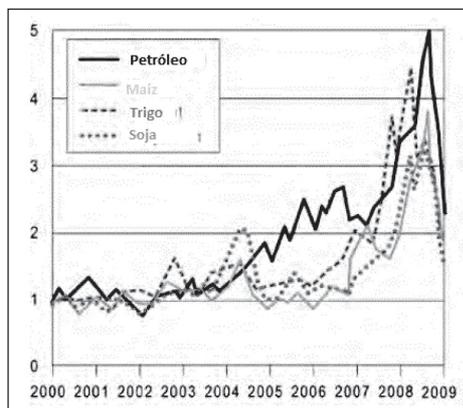
La inevitabilidad de los problemas de suministro de combustible es axiomática, dado que el petróleo y el gas natural no son renovables y las reservas existentes están disminuyendo progresivamente. Los descubrimientos mundiales de petróleo han ido a la baja desde los años sesenta (el año del pico para el descubrimiento de nuevos yacimientos petrolíferos fue 1964). Estados Unidos sobrepasó su cenit de producción en 1970, y desde entonces otros muchos países han entrado en la fase de declive de su producción de petróleo. Además, dados los retos económicos y geopolíticos que acompañan a la actual crisis económica mundial, a corto plazo posiblemente aumentarán las disrupciones agudas del suministro.

Los analistas del petróleo discuten el momento probable del inevitable cenit de la producción mundial de petróleo,¹ pero incluso los que son optimistas acerca de los recursos reconocen que la producción total de petróleo de los países que no son miembros de la OPEP comenzará su declive histórico y terminal en los próximos años, de forma que la capacidad de producción restante se concentrará en unos pocos países de una zona geográfica políticamente inestable. El pico del precio del petróleo de 2008 fue un presagio instructivo de lo que está por venir. A lo largo de 2006, 2007 y los primeros meses de 2008, la demanda mundial de petróleo creció, pero el suministro permaneció estancado. Le siguió a continuación un aumento repentino de los precios durante la primera mitad de 2008, y el impacto económico de unos costes altos del combustible, junto con el desarrollo de la crisis financiera mundial, provocaron que la demanda de petróleo se hundiese de forma rápida y relevante. En respuesta a ello, los precios del petróleo cayeron en picado (figura 3).

El repentino aumento de los precios del petróleo en 2008 contribuyó a duplicar casi simultáneamente los precios de los productos alimenticios (figura 3); entre otras causas, se incluyen las pobres cosechas fruto de la sequía y de otras condiciones adversas en varios países clave, la demanda creciente de las economías asiáticas en expansión, la especulación con las materias primas, la disminución del valor del dólar y el crecimiento de la producción de agrocombustibles. Como consecuencia de estos precios elevados de los alimentos, más de treinta países vivieron revueltas por hambre a finales de 2008.

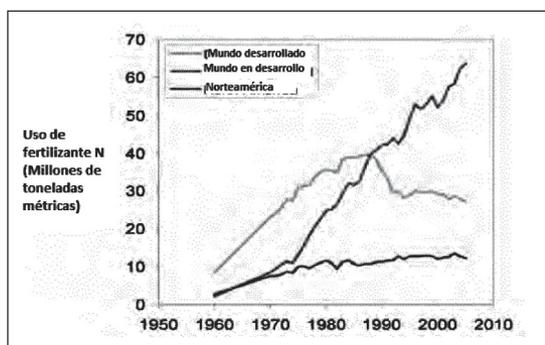
1. Las previsiones de los analistas del pico de la producción mundial de petróleo se han vuelto más pesimistas en los últimos años; el autorizado informe *World Energy Outlook 2008* de la Agencia Internacional de la Energía destaca especialmente a este respecto. Véase www.worldenergyoutlook.org/2008.asp.

Figura 3
Precio relativo del petróleo, el maíz, el trigo y la soja
en los mercados mundiales, 2000-2008 (precio de 2000=1).



El uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, elaborados principalmente con gas natural, llegó a su cenit a finales de los años ochenta en el mundo industrializado, pero sigue creciendo sin cesar en los países menos industrializados, lo que lleva a un continuo aumento de la demanda mundial (figura 4). Los precios de los

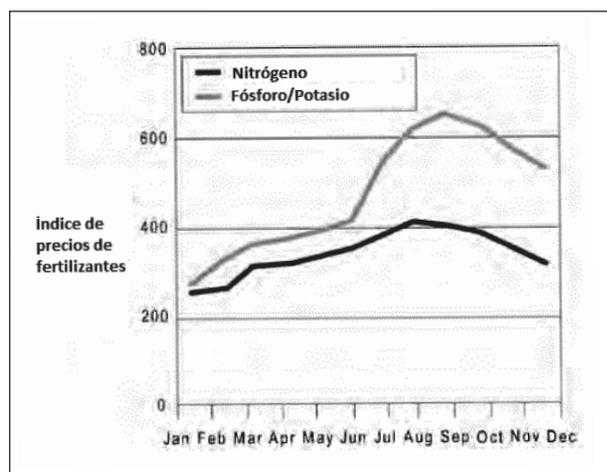
Figura 4
Uso de fertilizantes nitrogenados en los países industrializados y menos industrializados, 1960-2006²



2. International Fertilizer Industry Association, IFADATA Database, www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp. Aunque el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos ha caído desde finales de los años ochenta, en EE.UU. ha aumentado ligeramente durante el mismo periodo. Véase USDoA Economic Research Service, «Data Set – U.S. Fertilizer Use and Price», en www.ers.usda.gov/Data/FertilizerUse/.

fertilizantes llegaron a un pico con los precios del petróleo en 2008, lo cual refleja hasta qué punto la industria de los fertilizantes depende de la energía barata (figura 5).

Figura 5
Índice de precios de fertilizantes, 2008



Fuente: Erikson y Miller (2009).

Unos costes más altos de los combustibles no afectan sólo a los campesinos —que deben comprar carburante para sus tractores, así como fertilizantes y otros productos químicos agrícolas derivados del petróleo y del gas natural—, sino a todo el sistema alimentario: el coste del procesamiento, el empaquetado y la distribución de los alimentos sube, lo que hace que los costes alimentarios contribuyan de manera relevante a la inflación general.

Un impacto indirecto de los precios del petróleo sobre la producción agrícola procede de la fiebre por expandir la producción de agrocombustibles. A medida que el petróleo se ha vuelto más caro, los gobiernos han ofrecido subsidios cada vez mayores y otros incentivos para convertir biomasa en combustible, y ello, inevitablemente, ha hecho que los alimentos sean más caros. Se han visto afectadas incluso las cosechas no destinadas a convertirse en combustible, como el trigo, ya que los granjeros reemplazan los cultivos de trigo por los de materias primas para agrocombustible, como el maíz, la colza o la soja.

El pico de precios de 2008, cuyo impacto todavía no ha sido calculado en toda su dimensión, no fue un acontecimiento aislado, sino el principio de una

tendencia inevitable. La subida de los precios del petróleo y la escasez de crudo golpearán primero a los campesinos pobres. Muchos campesinos de África están viendo ya como los rendimientos de sus cosechas se desploman mientras intentan mantener los métodos industriales que el Banco Mundial, el FMI y varios organismos de ayuda les han enseñado y, a la vez, retener unos insumos petroquímicos que ya no se pueden permitir.

Pero lo más aterrador de todo quizá sean las implicaciones de la escasez de combustibles para la distribución de los alimentos: si los altos precios de los combustibles, o un corte en el suministro debido a un acontecimiento geopolítico repentino, impidiesen a los camiones entregar comida a los supermercados (como casi llegó a suceder en Gran Bretaña en el año 2000 y de nuevo en 2008 debido a huelgas de camioneros), las estanterías no tardarían en quedar vacías, y las interrupciones en procesos altamente consumidores de energía como el procesamiento, empaquetado y conservación de nuestro sistema alimentario también podrían representar un problema. Aunque los inevitables precios altos del petróleo son preocupantes, una prolongada escasez absoluta constituiría una pesadilla más allá de lo imaginable.

Una estrategia de supervivencia

La única forma de evitar una crisis alimentaria resultado de subidas del precio y interrupciones del suministro de petróleo y gas natural y, a la vez, de frenar la contribución de la agricultura al cambio climático, es eliminar de manera proactiva y metódica los combustibles fósiles del sistema alimentario. Los métodos para hacerlo se perfilan con más detalle en el resto del artículo. Hay que tener presente que la eliminación de los combustibles fósiles del sistema alimentario es inevitable: el mantenimiento del actual sistema simplemente no es una opción a largo plazo. Los temas de debate sólo deberían ser la cantidad de tiempo disponible para el proceso de transición y las estrategias para llevarla a cabo.

Dado el elevado grado de dependencia que el moderno sistema alimentario tiene de los combustibles fósiles, muchas propuestas para desvincular los alimentos de los combustibles fósiles probablemente parecerán radicales. Sin embargo, los esfuerzos encaminados a ese propósito se deben juzgar no por el grado con el que preservan el *statu quo*, sino por su capacidad para resolver el reto fundamental al que nos enfrentamos: la necesidad de alimentar una población mundial de siete mil millones de personas con un suministro decreciente de los combustibles disponibles para fertilizar, arar e irrigar los campos y para cosechar y transportar los cultivos. Además, debería destacarse que reducir la dependencia de los campesinos respecto de los combustibles fósiles va en favor de sus intereses, ya que eso fortalece su resiliencia frente a la volatilidad de precios y la escasez de recursos que puedan producirse en el futuro.

Aunque se pueden apuntar muchas tácticas (y muchas serán específicas para un lugar y caso concreto), algunos de los aspectos de una estrategia de transición general ya están claros:

- En general, los campesinos ya no pueden dar por supuesto que los productos derivados del petróleo y del gas natural (principalmente el diésel, la gasolina y los fertilizantes y pesticidas sintéticos) seguirán en el futuro relativamente disponibles y al alcance de su bolsillo, y por tanto deberían modificar en consonancia sus planes de negocio.
- Los campesinos deberían adoptar sistemas regenerativos de la fertilidad de los suelos que generen humus y fijen carbono en ellos, contribuyendo así a frenar el cambio climático en lugar de a exacerbarlo.
- Los campesinos deberían reducir el uso de pesticidas en favor de sistemas integrados de control de las plagas basados principalmente en controles biológicos, culturales y físicos.
- Mucha de la energía renovable que hará funcionar a la sociedad se puede y se debe generar en las granjas. La producción eólica y de biomasa, en particular, puede dar unos ingresos adicionales a los campesinos y proporcionar energía también a la granja.
- Los países y regiones deben reducir paulatinamente la energía necesaria para transportar alimentos mediante la relocalización de los sistemas alimentarios. Esto implicará apoyar a los productores locales y a redes locales que unan a los productores y consumidores. Los métodos más eficientes de transporte, como los barcos y trenes, deben reemplazar a los menos eficientes, como los camiones y aviones.
- El final de la era de los combustibles fósiles se debe reflejar también en un cambio de las pautas de alimentación y de consumo entre la población general, con una preferencia por los alimentos que se cultiven localmente, que sean de temporada y que se hayan procesado menos. Se debería promocionar un abandono de las dietas que exijan un consumo intensivo de energía y que estén centradas en la carne.
- Con menos combustible disponible para la maquinaria agrícola, el mundo necesitará más campesinos. Pero, para que los campesinos se acaben imponiendo, deberían modificarse las actuales políticas agrarias que favorecen la producción a gran escala y la destinada a la exportación, y deberían formularse y llevarse a la práctica las políticas que apoyan la agricultura de subsistencia a pequeña escala, la horticultura y las cooperativas, tanto por parte de las instituciones internacionales como el Banco Mundial como por parte de los gobiernos nacionales y regionales.

Si esta transición se lleva a cabo de forma proactiva e inteligente, podría llevar aparejados muchos beneficios (más carreras en el ámbito de la agricultura, una mayor protección del medio ambiente, menos erosión del suelo, una revitalización de la cultura rural y una mejora significativa de la salud pública). Inevitablemente, algunas de estas transformaciones las dirigirán las fuerzas del mercado, impulsadas simplemente por el aumento del precio de los combustibles fósiles. Sin embargo, sin una planificación, la transición puede ser dolorosa y destructiva, puesto que unas fuerzas del mercado que actúen por sí solas podrían llevar a la bancarrota a los campesinos y dejar a los consumidores con pocas opciones o ninguna en absoluto para garantizar el suministro de alimentos.

La transición

Eliminar los combustibles fósiles del sistema alimentario demasiado rápidamente, antes de que se hayan desarrollado sistemas alternativos, sería catastrófico. Por tanto, el proceso de transición debe ser un asunto sujeto a una cuidadosa consideración y planificación.

En los últimos años ha habido cierto debate sobre el problema de a cuánta gente podría mantener un sistema alimentario sin combustibles fósiles. La respuesta aún no está clara, pero sin duda lo estará pronto; los combustibles líquidos de sustitución —que incluyen a los obtenidos del carbón, los agrocombustibles, las arenas asfálticas y los esquistos bituminosos— son problemáticos y no se puede confiar en ellos para reemplazar al crudo barato y al gas natural a medida que éstos se agoten (Heinberg, 2003). Sin embargo, hay motivos para la esperanza. Un reciente informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) sobre la agricultura africana sugiere que la agricultura orgánica a pequeña escala puede producir los rendimientos elevados que se pensaba que eran exclusivos de la agroindustria, sin el daño ambiental y social que ésta ocasiona (UNCTAD, 2008), y una reciente investigación de la Universidad de Michigan llega también a la conclusión de que los métodos orgánicos y con insumos bajos de combustibles fósiles pueden aumentar los rendimientos en países menos industrializados al tiempo que se mantienen los rendimientos en los países industrializados (Bagdley *et al.*, 2007). Por regla general, las granjas más pequeñas poseen mayor biodiversidad (Hole *et al.*, 2005), ponen más énfasis en la recuperación del suelo (D'Souza e Ikerd, 1996) y presentan una mayor eficiencia en el uso de la tierra que las granjas grandes (Rosset, 1999).

Sin embargo, ningún sistema alimentario puede mantener a una población en constante crecimiento y que requiere cada vez más recursos. Dado que no se puede confiar por mucho más tiempo en la actual agricultura basada en los combustibles fósiles, el camino futuro más prudente deberá coordinar la polí-

tica agraria con políticas demográficas, educativas, económicas, de transporte y de energía. La transición del sistema alimentario será integral, y exigirá la incorporación de todos los sectores de la sociedad.

Este texto pretende servir de base para el inicio de ese proceso de planificación. Nuestro objetivo es desarrollar un esquema que se pueda usar para planificar estratégicamente la transición alimentaria y agrícola en todo el mundo, región a región y a todos los niveles (de la granja al país pasando por la comunidad), empezando por Estados Unidos.

2. Elementos de la transición

Lo que sigue son algunos elementos estratégicos del proceso de transición de los sistemas alimentarios que deberá afrontarse en todos los ámbitos, del hogar al país y más allá.

Relocalización

En las últimas décadas, los sistemas alimentarios de EE.UU. y de la mayoría de los demás países se han globalizado. Los alimentos se comercializan en cantidades enormes, y no sólo productos de lujo como el café y el chocolate, sino también alimentos básicos entre los que se encuentran el trigo, el maíz, la carne, las patatas y el arroz.

La globalización del sistema alimentario ha comportado ventajas: la gente de los países ricos tiene ahora acceso a una amplia variedad de alimentos en cualquier momento, incluidas frutas y verduras que están fuera de temporada (por ejemplo, manzanas en mayo o espárragos en enero), y a alimentos que no pueden crecer localmente en ningún momento del año (por ejemplo, aguacates en Alaska). El transporte a larga distancia permite que los alimentos se distribuyan desde zonas de abundancia a zonas de escasez. Así, mientras que en los siglos anteriores un desastre agrícola regional podía causar una hambruna, hoy en día sus efectos se pueden neutralizar importando alimentos relativamente baratos.

Sin embargo, la globalización alimentaria también crea una vulnerabilidad sistémica.³ A medida que aumenten los precios de los combustibles, los costes de los alimentos importados subirán. Si el suministro de combustibles quedara en buena medida cortado como resultado de algún suceso económico o geopolítico pasajero, el sistema entero podría caer. Además, un sistema globalizado es tam-

3. Para más información sobre este complejo tema, véase Shiva (2008).

bién más susceptible a alguna contaminación accidental, como hemos visto recientemente con la aparición de melanina tóxica en alimentos procedentes de China. La mejor forma de hacer que nuestro sistema alimentario sea más resiliente frente a tales amenazas es claro: descentralizarlo y relocalizarlo.

La relocalización tendrá lugar inevitablemente, antes o después, como resultado de la disminución de la producción de petróleo, ya que no se vislumbran en el horizonte fuentes de energía alternativas que puedan sustituir rápidamente al petróleo. Pero, para que el proceso de transición se desarrolle de una forma beneficiosa en lugar de catastrófica, debe planificarse y coordinarse. Ello exigirá un esfuerzo deliberado encaminado a construir la infraestructura necesaria para economías alimentarias regionales; unas infraestructuras que puedan mantener una agricultura diversificada y reducir la cantidad de combustibles fósiles que mantienen la dieta norteamericana.

Relocalizar significa producir localmente más alimentos básicos. Nadie propone abandonar por completo el comercio de alimentos; esto perjudicaría tanto a los campesinos como a los consumidores. En lugar de ello, lo que se necesita es priorizar la producción, de forma que las comunidades se basen más en las fuentes locales para obtener los alimentos esenciales y las importaciones a larga distancia se destinen principalmente a transportar alimentos de lujo (figura 6, página siguiente). Los alimentos básicos adaptados a cada región, que tienden a tener un valor escaso y a ser menos perecederos, deberían cultivarse en todas las zonas como un asunto de seguridad alimentaria.

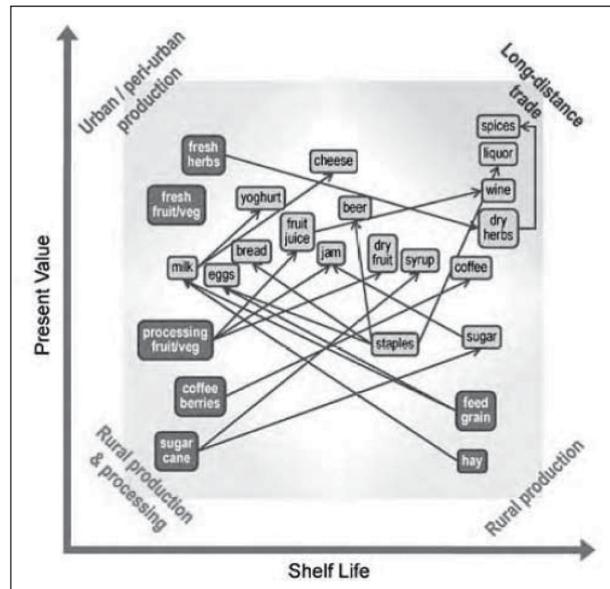
Esta descentralización del sistema alimentario dará como resultado una mayor resiliencia de la sociedad frente a la volatilidad del precio de los combustibles. Los problemas asociados a la contaminación alimentaria, cuando aparezcan, se atenuarán. Por otra parte, la revitalización de la producción local de alimentos ayudará a renovar las economías locales, los consumidores disfrutarán de alimentos de mayor calidad, más frescos y de temporada, y se reducirá el impacto del transporte sobre el clima.

Cada país o región deberá diseñar su propia estrategia para relocalizar su sistema alimentario, basada en una valoración inicial a fondo de las vulnerabilidades y las oportunidades. Las vulnerabilidades deberían evaluarse revisando la multitud de formas en que el suministro local de alimentos depende de la disponibilidad y asequibilidad relativas de combustibles fósiles a lo largo de todas las fases de la cadena de producción alimentaria y de distribución.⁴ Las oportunidades variarán

4. Véase, por ejemplo, el trabajo de la organización irlandesa Feasta, especialmente la presentación de Bruce Darrell «Planning for Food Security», disponible en www.postcarboncities.net/node/3215.

Figura 6

Posición relativa de productos alimentarios seleccionados en un plano definido por su valor actual y su fecha de caducidad. Las flechas muestran los procesos comunes de conversión de los alimentos. El transporte a larga distancia de los alimentos es más apropiado para productos de alto valor y no perecederos (área superior izquierda). La producción rural, que requiere un transporte a corta distancia, conviene a los alimentos de bajo valor para su procesamiento local (área inferior derecha). Los alimentos básicos normalmente tienen un valor relativamente bajo, alimentos con alto contenido en almidón y menos perecederos; la producción urbana de alimentos básicos puede contribuir a la seguridad alimentaria a corto plazo durante crisis de transporte, pero la producción rural de alimentos básicos también es necesaria para resolver las necesidades alimentarias a largo plazo. Normalmente, el procesamiento aumenta el valor añadido de los alimentos y prolonga su tiempo de conservación. El procesamiento puede reducir el valor actual (por ejemplo, secando hierbas) o la caducidad (por ejemplo, elaborando pan a partir del grano), pero no ambos a la vez; cuando se reduce el valor actual, el valor futuro debe aumentar por una caducidad más tardía.



mucho según las comunidades y regiones agrícolas, aunque hay muchas cosas que los gobiernos pueden hacer en la mayoría de las localidades:

- Promover la producción y el consumo de alimentos locales manteniendo infraestructuras necesarias, como mercados campesinos.

- Modernizar los sistemas de gestión de residuos para recoger los desechos alimentarios y convertirlos en compost, biogás y pienso, que se pueden poner a disposición de los productores locales.
- Exigir que un porcentaje mínimo de las compras de alimentos para escuelas, hospitales, bases militares y prisiones procedan de algún punto situado a menos de 150 kilómetros de las instituciones que adquieren los alimentos.
- Redactar normativas de seguridad alimentaria apropiadas a la escala de producción y distribución, de forma que un pequeño productor que venda directamente en su granja o en un mercado campesino no sufra regulaciones tan onerosas como las que afectan a una multinacional productora de alimentos.

Los consumidores deben desarrollar el hábito de comprar preferentemente alimentos locales siempre que sea posible, y se les puede animar a ello mediante campañas en ese sentido. Los minoristas también pueden ayudar etiquetando con claridad y exhibiendo de forma destacada los productos locales.

Los campesinos deben repensar sus estrategias de negocio. La mayor parte de las granjas orientadas a la exportación deberán acometer una transición a la producción de alimentos básicos para el consumo local y regional, un esfuerzo que exigirá tanto salir en busca de mercados locales como cultivar productos apropiados para dichos mercados; el movimiento Agricultura Apoyada por la Comunidad (AAC) —Community Supported Agriculture (CSA)— proporciona un modelo de negocio que ha demostrado tener éxito en muchas zonas. Los pequeños productores enfrentados a gastos de capital importantes para realizar esta transición también pueden crear cooperativas informales para adquirir maquinaria, como máquinas para trillar grano y para procesar colza o turbinas microhidroeléctricas para generar electricidad.

La estrategia de relocalizar los sistemas alimentarios planteará más retos a algunos países y regiones que a otros. Se deberían promover más huertos urbanos e incluso instalaciones con animales pequeños (pollos, patos, gansos y conejos) dentro de las ciudades, pero incluso entonces será necesario obtener la mayor parte de los alimentos del campo, distribuyéndolos a las comunidades urbanas y suburbanas mediante medios de transporte libres de combustibles fósiles. Esta relocalización debería ser vista como un proceso y una dirección general de los esfuerzos, no como un objetivo absoluto.

Energía

A medida que la sociedad abandone los combustibles fósiles, el balance energético de la agricultura deberá volver a ser nuevamente positivo. La transi-

ción podría ser compleja y problemática. Las granjas seguirán usando energía para sus actividades, pero necesitarán obtener toda esta energía o buena parte de ella. Mientras tanto, los campesinos podrían aprovechar las oportunidades para exportar excedentes de energía a comunidades cercanas como un medio para aumentar sus ingresos.

Las granjas deben funcionar con energía renovable. Sin embargo, en la actualidad la mayor parte de la energía necesaria —como el combustible para los tractores y otra maquinaria— es difícil obtenerla con otra cosa que no sean combustibles líquidos como el diésel o la gasolina, elaborados a partir del petróleo. Los granjeros deberían buscar, en primer lugar, vías para reducir sus necesidades de combustible mediante la eficiencia y la sustitución de las máquinas alimentadas con combustible por energía animal o trabajo humano. Probablemente, esto es más factible económicamente en los sectores dedicados a los productos lácteos, cárnicos y hortofrutícolas.

Allí donde la maquinaria que se mueve con combustible siga siendo necesaria —lo que probablemente será el caso para la producción de cereales—, el etanol o el biodiésel hechos in situ podrían complementar o reemplazar a los combustibles derivados del petróleo. El problema clave aquí es conseguir una Tasa de Retorno Energético suficientemente elevada; es decir, la cantidad de energía disponible en los agrocombustibles producidos in situ debe ser sustancialmente mayor que la energía invertida para producir estos agrocombustibles. Estudios recientes sugieren que los granjeros estadounidenses podrían solucionar buena parte de sus necesidades de carburante destinando una quinta parte de la tierra cultivable a la producción de agrocombustibles.⁵

Muchas otras actividades de una granja requieren electricidad, y ésta se puede generar in situ con turbinas eólicas, paneles solares y turbinas micro-hidroeléctricas. Los esfuerzos se deben dirigir en primer lugar a que las actividades sean más eficientes energéticamente. Dado que estas tecnologías requieren una fuerte inversión inicial y su amortización es lenta, la asistencia del gobierno y de las instituciones financieras mediante subvenciones y créditos a bajo interés

5. Un destacado especialista en tasas de retorno energético (TRE) ha propuesto que la TRE mínima necesaria para que un combustible realice una contribución real a la sociedad es de 5:1 (Hall, 2008). Si tenemos en cuenta que un reciente estudio de la Universidad de Idaho/USDA afirma que la TRE del biodiésel de soja ha aumentado hasta un 3,5:1 en la última década (National Biodiesel Board, 2008) y que la TRE de otros agrocombustibles, como el de aceite de palma, puede llegar a ser de 9:1 (Worldwatch Institute, 2006), una TRE de 5:1 parece tanto una base de partida como un objetivo realista para una producción de agrocombustibles sostenible económicamente. Así pues, dedicar una quinta parte de la tierra de una granja a la producción de agrocombustibles eficientes debería ser suficiente para resolver las necesidades energéticas de dicha granja.

podría desempeñar un papel decisivo para ayudar a los campesinos a superar las primeras dificultades económicas en el camino hacia la autosuficiencia energética. Estas subvenciones para la energía renovable a los pequeños campesinos deberían ser una prioridad nacional del gobierno.

En última instancia, los campesinos podrían ser no sólo autosuficientes en materia energética, sino capaces de producir un excedente de energía para las comunidades de los alrededores. Mucha de esta energía exportada procedería probablemente de la biomasa: desechos agrícolas y forestales que pueden ser quemados para producir tanto electricidad como agua caliente para la calefacción. Aunque los campesinos pueden cultivar también para la producción de agrocombustibles líquidos, los límites ecológicos y termodinámicos de esta tecnología energética exigen que la escala de producción se restrinja deliberadamente. Si no es así, la demanda social de combustible podría sobrepasar la capacidad de los campesinos de producir alimentos (y los alimentos deben seguir siendo la primera prioridad). Al exportar biomasa desde la granja, los productores deben tener siempre presente la capacidad productiva de los sistemas agrícolas sostenibles, y deben controlar estrictamente la salud y la fertilidad del suelo.

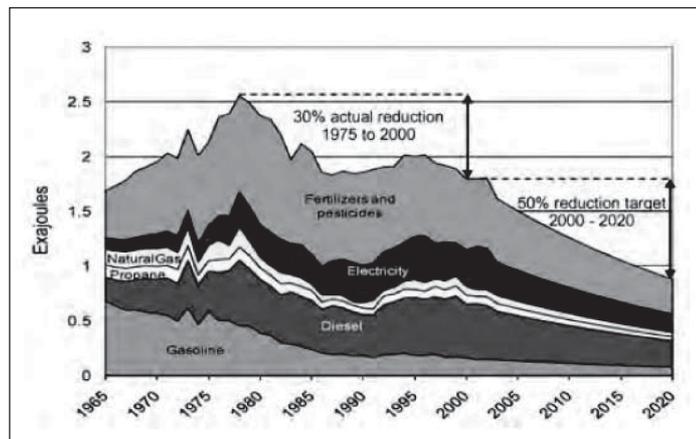
La transición de las granjas a las energías renovables exigirá planificación. Los campesinos, a ser posible con la ayuda de organismos regionales y nacionales, deberían planificar un aumento de la eficiencia energética, una reducción del uso de combustibles fósiles y un aumento de la producción de energía renovable de acuerdo con un programa integral y progresivo diseñado en función de las necesidades y capacidades específicas de cada granja. Las granjas estadounidenses consiguieron reducir el uso de combustibles fósiles alrededor de un 30% entre 1979 y 2000, en buena medida gracias a una menor dependencia de los fertilizantes nitrogenados y de los pesticidas sintéticos. Una reducción del 50% para 2020 es un objetivo factible si las granjas estadounidenses siguen luchando por aumentar la eficiencia energética y buscando maneras de reemplazar el uso de combustibles fósiles por fuentes de energía renovable (figura 7, página siguiente).

Fertilidad del suelo

En la agricultura industrial, la fertilidad del suelo se mantiene con insumos procedentes de otros sitios. Los más importantes son el nitrógeno y el fósforo. Los fertilizantes nitrogenados proceden de nitrógeno atmosférico que reacciona con el hidrógeno (normalmente obtenido del gas natural) bajo condiciones de alta presión y alta temperatura. En Estados Unidos, producir fertilizantes nitrogenados usando esta reacción consume al menos un tercio (y posiblemente mucho más) de la energía utilizada para el cultivo de los

Figura 7

Energía total utilizada por las granjas estadounidenses, 1965-2002 (Miranowski, 2004), con un objetivo de reducción del 50% en 2020 de los niveles de 2000. Los logros futuros en el campo de la eficiencia pueden provenir de ulteriores reducciones del uso de fertilizantes sintéticos y pesticidas; de la generación de electricidad en las granjas a partir de energías renovables como la eólica, la hidroeléctrica y la solar, y de la sustitución gradual del diésel y de la gasolina por agrocombustibles producidos en las granjas. En 2020, las granjas deberían necesitar menos de 1 Exajulio de fuentes de energía no renovables.

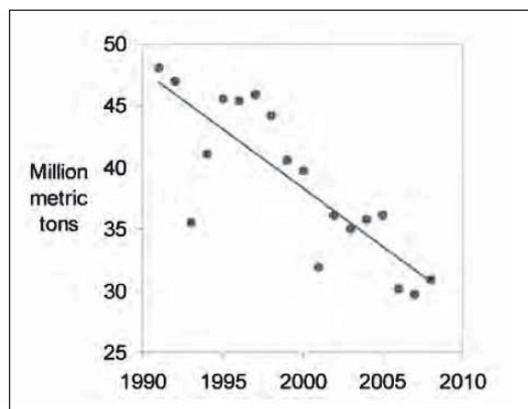


principales alimentos, como el trigo y la colza.⁶ El fósforo procede de las minas de fosfatos de diversos países. Aunque existen suficientes depósitos de fosfatos de baja calidad para satisfacer las necesidades mundiales durante muchas décadas, los depósitos de alta calidad se están agotando muy rápidamente (la figura 8 muestra la evolución de la producción estadounidense, que es de lejos el principal productor mundial), por lo que el precio de los fosfatos posiblemente subirá en los próximos años.

Tanto el nitrógeno como el fósforo son esenciales para la agricultura, y la forma en que se obtienen hoy en día son a todas luces insostenibles. A no ser que se encuentren rápidamente vías alternativas para mantener la fertilidad del suelo, se avecina una crisis.

6 Recientes análisis de la producción de trigo y colza muestran que el nitrógeno supone casi la mitad de la energía utilizada en la producción: véase Piringer y Steinberg (2009), y también Biopact (2007). Para más referencias, véanse Leigh (2004) y Pimentel y Pimentel (2008).

Figura 8
Producción estadounidense de fosfatos
de roca comercializables, 1991-2008 (Jasinski, 2009)



La solución a largo plazo dependerá del diseño de sistemas agrícolas que mejoren fertilidad mediante una estrategia doble: la rotación de cultivos y el reciclaje de nutrientes. La rotación de cultivos puede ayudar a mantener los niveles de nitrógeno. El simple hecho de plantar un cultivo de cobertura tras la cosecha de otoño reduce significativamente la filtración del nitrógeno y atenúa a la vez la erosión del suelo. Por otra parte, la introducción de cultivos de leguminosas fijadoras de nitrógeno en el ciclo de rotación sustituye al nitrógeno. Policultivos sabiamente diseñados producen de manera sostenible más que los monocultivos en granjas grandes y pequeñas tanto en EE.UU. (Russelle y Franzluebbers, 2007; Joliffe, 1997) como en el resto del mundo (FAO, 2009). Mezclar los cultivos y volver a vincular la actividad agrícola y la cría de ganado conduce, por tanto, a un uso más eficiente de la tierra, los nutrientes y la energía, pero suele exigir más trabajo y experiencia agrícola.

La mayor parte de los granjeros industriales abandonaron la práctica del cultivo de cobertura cuando los fertilizantes comerciales se convirtieron en la opción más barata. Pero eso cambió en 2008, cuando los precios crecientes de los fertilizantes sobrepasaron el coste de sembrar y gestionar cultivos de cobertura que fijan el nitrógeno. Aunque los precios de los fertilizantes han caído desde el verano de 2008, es probable que suban de nuevo. Por consiguiente, es importante que los granjeros empiecen a organizarse ante la llegada de unos precios más altos preparando sus ciclos de rotación y anteponiendo la mejora de la fertilidad natural del suelo a las necesidades inmediatas.

En la agricultura industrial, el suelo es tratado como una sustancia inerte que mantiene las plantas en su lugar mientras los nutrientes químicos se aplican externamente. Sin esfuerzos para mantener la fertilidad natural, con el tiempo la materia orgánica desaparece del suelo, junto con los microorganismos beneficiosos. En el futuro, cuando los fertilizantes químicos se vuelvan más caros, los campesinos tendrán que dedicar mucha más atención a la práctica de conservar un suelo sano. Aun así, reconstruir suelos desprovistos de nutrientes lleva años de esfuerzo.

Los campesinos tradicionales aumentan la cantidad de materia orgánica del mantillo mediante la aplicación de compost, que no sólo aumenta la fertilidad del suelo, sino que también mejora la capacidad del mismo para retener el agua y resistir las sequías. Asimismo, hay cada vez más pruebas de que los alimentos crecidos en un suelo mejorado con compost tienen una mayor calidad nutricional (Andrews, Mitchell y Glover, 2009). En el sistema actual, los consumidores, los minoristas, los mayoristas y las instituciones suelen desear cantidades enormes de alimentos. Algunas comunidades han puesto ya en marcha programas municipales para el compostaje a partir de alimentos y desperdicios de jardín; tales programas se podrían extender y volver obligatorios, vendiendo el compost o incluso regalándoselo a los campesinos locales. Esto reduciría la cantidad de basura que va a parar a los vertederos, así como las necesidades de fertilizantes y de irrigación de los campesinos, y mejoraría a su vez la calidad nutricional de la dieta. Además, recientes investigaciones con «terra preta» (también conocido como «biochar»), un material parecido al carbón que se puede producir a partir de los desperdicios agrícolas, sugieren que su introducción en los suelos podría reducir entre un 20% y un 30% la necesidad de nitrógeno de las plantas, fijando a la vez carbono que de otra forma terminaría en la atmósfera (CNULD, 2008). El potencial del compostaje y del uso de *terra preta* para mitigar la crisis climática no es trivial: un incremento de un 1% de materia orgánica en los 30 centímetros superiores del suelo equivale a la captura y almacenamiento de 250 toneladas de dióxido de carbono atmosférico por cada 0,25 hectáreas de tierra de labor.

A la larga, no hay otra solución al problema del suministro de fósforo que un sistema de reciclaje completo de los nutrientes. Esto implicará rediseñar por completo los sistemas de aguas residuales y los criaderos de animales para recuperar nutrientes que puedan ser devueltos al suelo (como los campesinos de Europa, China, Japón y demás países hicieron durante siglos). No obstante, si los sistemas de aguas residuales (o variantes más simples) deben convertirse en fuentes de fósforo y de otros nutrientes para el suelo, no podrán seguir siendo canales utilizados para deshacerse de residuos tóxicos. Es esencial que se desarrollen corrientes de separación de los desperdicios para desear todos los residuos farmacéuticos, químicos del hogar e industriales. Así

pues, el problema de la fertilidad del suelo es algo que los campesinos no pueden resolver por sí mismos: es una crisis del sistema alimentario en su totalidad, y debe tratarse en su contexto y de manera integral.

Dieta

Para la configuración del sistema alimentario, las elecciones de los consumidores son tan importantes como las de los productores. Durante las últimas décadas, las preferencias de los consumidores han sido moldeadas para adecuarse al sistema alimentario industrial mediante la publicidad y el desarrollo del mercado de masas, uniforme, de productos alimentarios empaquetados que, aunque sean inferiores desde el punto de vista nutricional, son baratos, atractivos y, en algunos casos, incluso físicamente adictivos. La llegada y rápida proliferación de restaurantes de «comida rápida» ha promovido asimismo una dieta que es beneficiosa para los gigantes de la agroindustria, pero desastrosa para la salud de los consumidores. Estas tendencias son lamentables no sólo desde el punto de vista de la salud pública, sino que son claramente insostenibles en vista de las crisis energética y climática a las que se enfrenta la agricultura moderna.

Dado que los alimentos procesados, empaquetados y frescos importados fuera de temporada agregan intensidad energética al sistema alimentario, tanto los ricos como los pobres deben aprender a comer productos de temporada menos procesados y cultivados localmente. Campañas de educación pública podrían ayudar a cambiar las preferencias del consumidor en este aspecto. Debería promocionarse también el paso a una dieta menos centrada en la carne, porque una dieta basada en ella es considerablemente más intensiva en energía fósil que una basada en las plantas (Pimentel y Pimentel, 2008: 133-134).

Las instituciones gubernamentales pueden apoyar un cambio en las preferencias dietéticas mediante sus propias políticas de compras (véase «Relocalización», arriba), y se puede reforzar aún más al proceso con una cuidadosa definición oficial de «alimento» por parte del gobierno. No tiene sentido que los esfuerzos gubernamentales dirigidos a mejorar la salud nutricional de la gente apoyen el consumo de productos que se sabe que son insanos, como los refrescos y otros tipos de comida basura.

Sistemas agrícolas

En las últimas décadas, la agricultura se ha vuelto más especializada. Hoy, una granja típica puede producir sólo carne de un único tipo (pavo, pollo, cerdo o ternera), o sólo leche, o un único tipo de cereal, verdura, fruta o fruto seco. Esta intensa especialización tenía sentido económico en la era de la

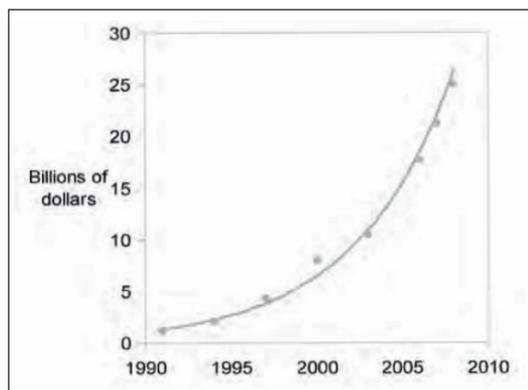
energía y los insumos agrícolas baratos, pero, como la naturaleza es un sistema diverso y cerrado, la eliminación deliberada de la diversidad en la granja ha llevado a problemas en cada fase del proceso. Por ejemplo, los cebaderos a escala industrial (también conocidos como «actividades concentradas de alimentación animal») producen grandes cantidades de residuos que terminan en enormes balsas de estiércol que contaminan el agua y hacen que el aire apeste. Por su parte, las dietas para alimentar a los animales basadas en los piensos dan como resultado problemas digestivos que requieren la administración a gran escala de antibióticos que encuentran la forma de llegar tanto al sistema alimentario humano como a los acuíferos, y que hacen que los organismos patógenos que afectan a los seres humanos sean resistentes a los antibióticos.

La especialización agrícola también conlleva un impacto sobre el cultivador de cereales o verduras. Los suelos que año tras año producen estas cosechas necesitan un reabastecimiento regular de nitrógeno, pero si el campesino conserva pocos animales, quizá no haya otra opción que traer fertilizantes de fuera.

En cambio, si optan por sistemas multiempresa más diversificados, los campesinos a menudo pueden solucionar a la vez toda una serie de problemas. Alimentar con mucho menos pienso al ganado y darle acceso a pastos en rotación con otros cultivos mantiene la fertilidad del suelo y lleva a mejorar la salud de los animales y a una calidad alimentaria más elevada. El campesino, el medio ambiente y el consumidor salen beneficiados. La agricultura orgánica proviene de las ideas de sir Albert Howard (Howard, 1943), quien abogaba por sistemas agrícolas pequeños y diversificados que imitasen los ecosistemas naturales y promoviesen el ciclo de recursos en la propia granja. Los Estándares Orgánicos Nacionales, promulgados en 2002, fueron un intento de codificar las ideas de Howard en una ley federal. Aunque el simple cumplimiento de las normativas orgánicas no garantiza un sistema agrícola sostenible, numerosas investigaciones recientes muestran que las granjas orgánicas tienden a usar menos energía y menos insumos de fuera de las granjas (Van der Werf *et al.*, 2007), fomentan una mayor biodiversidad (Hole *et al.*, 2005) y tienen un suelo (Marriott y Wander, 2006), unos animales (Lund y Algers, 2003) y unas plantas (Benbrook, 2009) más sanos que sus homólogos convencionales. En EE.UU., las ventas de productos orgánicos han crecido exponencialmente durante dos décadas. El crecimiento del sector orgánico ha sido posible al encontrar formas prácticas de hacer crecer alimentos y fibras usando servicios del ecosistema en lugar de basarse en fertilizantes sintéticos y pesticidas intensivos en uso de energía.

La transición a un sistema alimentario desvinculado de los combustibles fósiles también puede obligar a repensar el tamaño de las explotaciones agrarias. La mecanización del campo y la centralización de los sistemas alimentarios favorecieron a las granjas más grandes. Sin embargo, a medida que el com-

Figura 9
Venta de productos orgánicos en EE.UU. entre 1991 y 2008
(en miles de millones de dólares)



Fuente: Organic Trade Association (2009)

bustible para la maquinaria agrícola sea más caro y que las granjas independientes de los combustibles fósiles requieran más trabajo humano y energía animal, las actividades a pequeña escala volverán a ser una vez más rentables. Además, cuando las granjas aumenten su grado de diversificación será necesaria una menor escala de actividades, ya que los campesinos tendrán que controlar más elementos del sistema. La agricultura se convertirá, por tanto, en una práctica que requiera muchos más conocimientos, exigiendo una actitud integral por parte de los campesinos.

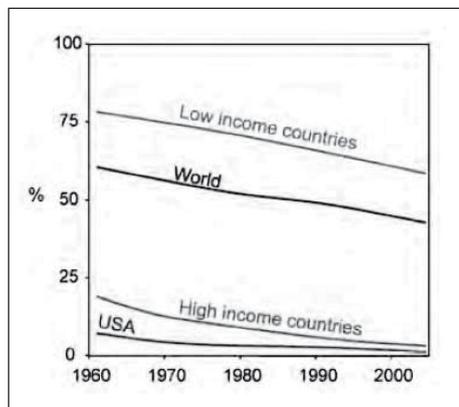
En las zonas urbanas, las microgranjas y los huertos —lo cual incluye huertos verticales y huertos en las azoteas— que tengan pequeños animales, como pollos y conejos, podrían proporcionar una cantidad sustancial de alimentos a los cultivadores y sus familias, además de algún ingreso adicional por la venta de excedentes de temporada en los mercados hortícolas.

La mano de obra agrícola

Con menos combustible disponible para la maquinaria agrícola, el mundo necesitará más campesinos. Pero, para que éstos puedan prosperar, será necesario que cambien algunas políticas agrícolas actuales que favorecen la producción a gran escala y la destinada a la exportación, mientras que tanto las instituciones internacionales como el Banco Mundial como los gobiernos nacionales, regionales y locales deben formular y poner en práctica políticas que apoyen a las granjas a pequeña escala, los huertos y las cooperativas agrícolas.

Actualmente, EE.UU. tiene menos de dos millones de campesinos a jornada completa. En 1900, cerca del 60% de la población trabajaba en el campo, mientras que la proporción actual es de menos de un 1% (figuras 2 y 10). Hoy, el campesino medio está cerca de la edad de jubilación (DoA, 2009a). En los países y regiones donde se cultiva sin maquinaria, un porcentaje mayor de la población participa en la producción agrícola (figura 10). Por ejemplo, los campesinos son más de la mitad de la población en China, India, Nepal, Etiopía e Indonesia.

Figura 10
Porcentaje de la población dedicada a la agricultura, 1961-2004



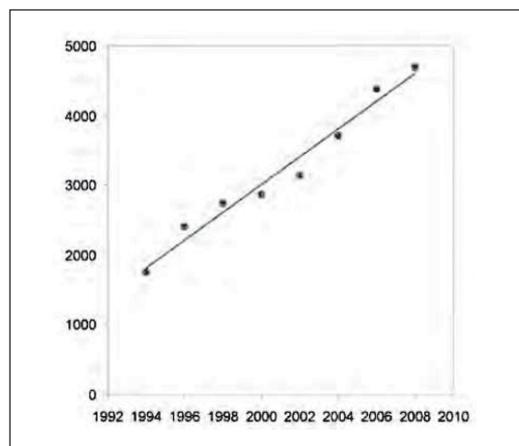
Fuente: World Resources Institute, «EarthTrends» (<http://earthtrends.wri.org>; acceso el 4 de marzo de 2009).

Aunque se desconoce la proporción de campesinos que serían necesarios en EE.UU. si el país tuviese que ser autosuficiente en alimentos cultivados sin combustibles fósiles (dependería de las tecnologías utilizadas y de las dietas adoptadas), sin duda sería mucho mayor que la actual. Es razonable esperar que se necesiten varios millones de nuevos campesinos, una cifra que es a la vez inimaginable y difícil de gestionar a corto plazo. Este nuevo campesinado debería incluir una amplia mezcla de gente que refleje la diversidad cada vez mayor del país. Un número creciente de adultos jóvenes se están convirtiendo en granjeros orgánicos o biodinámicos, y los mercados campesinos y las AAC florecen por todo el país (figura 11). Estas tentativas deben ser apoyadas y promovidas. Además de las políticas gubernamentales que apoyen a los sistemas agrícolas sostenibles basados en explotaciones agrícolas más pequeñas, esto exigirá:

146

- *Educación:* Las universidades y otras instituciones educativas de nivel superior deben desarrollar rápidamente programas sobre métodos agrícolas ecológicos a pequeña escala (programas que incluyan también formación en otras disciplinas que los campesinos necesitarán, como el márketing y el diseño de planes de negocio). Los aprendizajes y otras formas de transmisión de conocimientos directos ayudarán a la transición. Se deberán incluir programas de horticultura en los planes de enseñanza de todas las escuelas primarias y secundarias, especialmente en los programas de verano.
- *Apoyo financiero:* Dado que pocas granjas, si es que hay alguna, tienen éxito financiero en sus primeros años, serán necesarios préstamos y subvenciones para ayudar a empezar a los campesinos.
- *Revitalización cultural y de la comunidad:* En las décadas pasadas los pueblos del EE.UU. rural han visto marcharse a demasiados de sus jóvenes, primero a universidades distantes y después a las ciudades. Las comunidades agrícolas deben ser lugares interesantes, atractivos, si esperamos que la gente quiera vivir en ellas y que los niños quieran permanecer allí.

Figura 11
Mercados campesinos que operan en EE.UU.
(1994-2008). Aproximadamente doscientos nuevos
mercados campesinos se han puesto en marcha
todos los años en los últimos catorce, más que
duplicando el número a escala nacional.



Fuente: DoA (2009b).

Las semillas

La industria de las semillas está muy centralizada. Muchas semillas comerciales son variedades híbridas que se deben comprar todos los años. A escala mundial, una proporción creciente de las semillas comerciales disponibles para determinados tipos de cultivos —como el maíz, el algodón y la soja— están modificadas genéticamente (MG). Las empresas de semillas MG hace mucho que prometen que sus productos llevarán finalmente a cultivos más nutritivos; sin embargo, en la actualidad, los genes patentados simplemente confieren resistencia a plagas de insectos o a herbicidas de la propia empresa, mientras que la promesa de unos cultivos más ricos en nutrientes tardará muchos años en ser cumplida.⁷ Dado que la necesidad de una transición es inmediata, los esfuerzos por configurar un sistema alimentario desvinculado de los combustibles fósiles no puede esperar a nuevas tecnologías que pueden o no surgir o tener éxito. En cualquier caso, la industria de las semillas MG depende de tecnologías intensivas en energía, como los fertilizantes químicos y los herbicidas, así como de unos sistemas de producción y distribución centralizados, que están inextricablemente unidos al actual sistema alimentario basado en los combustibles fósiles. Por lo tanto, es poco probable que los cultivos MG sean de mucha ayuda durante la transición.

En cambio, lo que se requiere son esfuerzos coordinados para identificar variedades de polinización abierta de cultivos que estén adaptados a los suelos y microclimas locales, y programas para que estas semillas estén a disposición de los campesinos y horticultores en cantidades suficientes. Además, las universidades locales pueden empezar a ofrecer cursos sobre técnicas de conservación de semillas.

Los sistemas de procesamiento y distribución

El proceso de transición estará sin duda cargado de retos para los sistemas de procesamiento y distribución, que se basan actualmente en grandes insumos de energía y en el transporte a larga distancia. Por ejemplo, la industria cárnica depende ahora del transporte a larga distancia del ganado a instalaciones centralizadas para su matanza. Relocalizar los sistemas alimentarios implicará crear incentivos para el surgimiento de mataderos y carnicerías más pequeños y localizados. Una solución provisional sería crear una flota de mataderos móviles que fuesen de granja en granja, procesando los animales de una forma humana y barata.⁸

7. El arroz dorado es el ejemplo más comúnmente citado de un cultivo MG diseñado para ser más nutritivo. Ha estado en desarrollo desde 1992, pero todavía no está disponible para el consumo humano.

8. Hay unidades móviles de procesamiento en los estados de Iowa, Kansas, Kentucky, Dakota del Norte, Pensilvania y Washington. Véase www.extension.org/pages/Niche_Meat_Processor_Case_Studies.

Muchas normativas sobre la salud se crearon originalmente para evitar los abusos de los grandes productores de alimentos, pero tales normativas pueden ahora dificultar el desarrollo de sistemas de procesamiento y distribución de menor escala y más localizados. Por ejemplo, los campesinos podrían curar un jamón y venderlo a sus vecinos sin tener que realizar una inversión enorme en instalaciones aprobadas oficialmente por el gobierno. Un pequeño productor que venda directamente en la granja o en un mercado campesino no debería estar sujeto a las mismas normativas de seguridad alimentaria que una multinacional de la industria alimentaria; aunque los alimentos locales pueden ofrecer a veces problemas de seguridad, éstos serán menos catastróficos y más fáciles de abordar que problemas similares en instalaciones a escala industrial.

Los procesadores de alimentos deben buscar vías para que sus actividades sean más eficientes energéticamente, al tiempo que los organismos gubernamentales, los consumidores y los minoristas encuentran vías para reducir la necesidad de procesar la comida y también de empaquetarla. Este cambio gradual requerirá apoyo institucional a las familias para que almacenen, procesen, cocinen y conserven los alimentos en el hogar. Se podrían crear centros multiuso de procesamiento de alimentos a pequeña escala comercial que fuesen competitivos con los que trabajan para marcas de alcance nacional.⁹

Asimismo, en vista de los inevitables problemas en los sistemas de transporte existentes en la actualidad, se deben reconsiderar los sistemas nacionales y regionales de almacenamiento de alimentos. Para evitar el pillaje, hay que mantener y gestionar reservas regionales de grano, suficientes para resolver las necesidades esenciales durante una crisis alimentaria prolongada. El empaquetado de alimentos debería estar regulado para minimizar el uso de plásticos, que se volverán más escasos y caros a medida que el petróleo y el gas se agoten, y que son fuentes de toxinas.

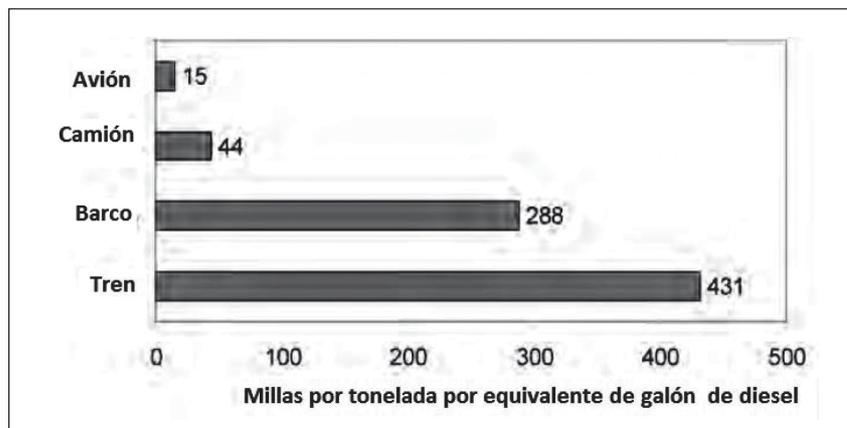
Los gobiernos deberían alentar políticas que prioricen la distribución de alimentos en tren y en barco en lugar de por carretera, porque los camiones son más ineficientes desde el punto de vista energético (figura 12, página siguiente). Actualmente, en muchos casos los supermercados son los principales centros de distribución de alimentos. Sin embargo, este modelo presupone un acceso casi universal a los automóviles y la gasolina. Un sistema alimentario resiliente requerirá puntos de acceso más pequeños y más ampliamente dis-

9. En todo EE.UU. están teniendo éxito los proyectos para el uso comercial compartido de cocinas. Algunos ejemplos de ello son el Mission Mountain Food Enterprise Center (Ronan, Montana, www.mmfec.com), la Anson County Commercial Kitchen (Carolina del Norte, www.nvbdi.org/services/kitchen.php) o la Chef's Kitchen (Los Ángeles, California, www.chefskitchens.com).

tribuidos en forma de pequeñas tiendas y mercados hortofrutícolas o campesinos. Las regulaciones gubernamentales y los incentivos fiscales podrían ayudar a conseguir este cambio.

Figura 12

Eficiencia relativa de los diferentes métodos de transporte de mercancías en EE.UU. Un tren puede transportar una tonelada de carga 431 millas con un galón de combustible diésel. La misma cantidad de combustible transportaría una tonelada de carga solamente 15 millas por aire. Todos los datos se refieren a transporte nacional; los cargueros transoceánicos pueden ser más eficientes que la distribución nacional mostrada aquí.



Fuente: DoE (2009).

Los mayoristas y distribuidores desempeñarán un papel diferente en la transición del sistema alimentario. Seguirán siendo necesarios para gestionar los suministros de alimentos producidos estacionalmente que vayan de los productores a los consumidores. Sin embargo, en lugar de favorecer a los grandes productores y a las gigantescas cadenas de supermercados, deben cambiar sus actividades para servir a granjas y huertos más pequeños, más disgregadas, así como a tiendas minoristas más pequeñas y también más disgregadas.

3. Plan de acción de resiliencia

El proceso de transición tendrá éxito si crea sistemas alimentarios más resilientes. Los sistemas resilientes son capaces de soportar perturbaciones más fuertes antes de sufrir un cambio drástico a una nueva condición en la que se esté controlado por un conjunto diferente de procesos. Una cualidad

de la resiliencia es la redundancia —que a menudo está reñida con la eficiencia económica a corto plazo—. La eficiencia en el sistema alimentario implica tanto largas cadenas de suministro como la reducción de las existencias a la mínima expresión. Esta distribución de productos *just in time* reduce los costes, pero aumenta la vulnerabilidad de los sistemas ante perturbaciones como la escasez de carburantes. A medida que se presta más atención a la resiliencia y menos a las eficiencias a corto plazo, la redundancia y las grandes existencias son vistas como beneficios más que como desventajas. Otros valores de la resiliencia son la diversidad (como opuesta a la uniformidad) y la dispersión (en lugar de la centralización) del control sobre los sistemas.

Aumentar la resiliencia de nuestros sistemas alimentarios a medida que nos dirigimos hacia una economía poscombustibles fósiles conllevará todos los elementos de transición detallados más arriba. También exigirá planificar en cuatro ámbitos: gobierno, comunidad, negocio e individuo o familia. En cada nivel, el proceso de planificación será algo diferente. Esta sección esboza los principales pasos en la planificación que tendrán sentido en cada uno de estos niveles. En algunos casos, los pasos dentro de un plan de acción deberían ser dados simultáneamente. En cualquier caso, lo que se ofrece aquí es un simple esbozo esquemático para un proceso que deberá ser desarrollado para que se adapte a las necesidades únicas de aquellos a los que servirá.

Gobierno

El sistema alimentario es una mezcla compleja de actores públicos y privados desde los ámbitos más locales a los más globales. Por lo tanto, los gobiernos tienen una responsabilidad especial a la hora de asegurar que el sistema sea resiliente y de resolver las necesidades básicas de sus electores de forma tan equitativa como sea posible.

Los siguientes pasos se aplican a cualquier nivel de gobierno (nacional, regional o local). En el nivel más alto de la escala (el país), cada paso será por sí mismo objeto de una planificación y una delegación detalladas; un excelente ejemplo de una evaluación del sistema alimentario a escala nacional es la campaña «Plan de alimentación sostenible para Gran Bretaña» de la Asociación del Suelo (The Soil Association, 2009). En el nivel más bajo de la escala (pequeñas poblaciones), al gobierno le puede faltar la capacidad necesaria para dar cualquiera de estos pasos o hacer poco más que ofrecer un apoyo oficial simbólico a las iniciativas ciudadanas voluntarias.

1. *Evaluar el sistema alimentario existente.* Empezar con un estudio de las vulnerabilidades y oportunidades sistémicas actuales. ¿De dónde proceden ahora los insumos a las granjas? ¿Cuánta comida se importa? ¿Qué

porcentaje de estos alimentos son productos básicos y qué porcentaje son alimentos de lujo? ¿Cuáles son los costes medioambientales de las actuales prácticas agrícolas? ¿Cómo se vería afectado el actual sistema alimentario por cortes de combustible y altos precios?

2. *Revisar las políticas.* ¿Cómo están manteniendo las actuales políticas estas vulnerabilidades e impactos medioambientales? ¿Cómo se pueden modificar o eliminar? ¿Están estas políticas ya en situación de poder ayudar a la transición? ¿Cómo se pueden fortalecer estas últimas?
3. *Unir a las partes interesadas clave.* Las organizaciones de campesinos, las empresas de procesamiento y distribución de alimentos y los minoristas deben ser incluidos en el proceso de transición. La mayoría desearán simplemente mantener el sistema existente, pero debe quedar claro que ésa no es una opción. Muchas empresas involucradas en el sistema alimentario deberán cambiar sustancialmente su modelo de negocio.
4. *Elaborar un plan de transición.* El plan de transición que se formule debe abarcarlo todo y con detalle, y debe incluir objetivos robustos pero alcanzables con límites temporales y mecanismos para una revisión y valoración periódicas. Se debe llevar a cabo un ejercicio de campo para valorar el impacto del plan sobre la producción agrícola y cuantificar los cambios en tipos de mercancías producidas y en su volumen y precios.
5. *Educar e implicar a la población.* La gente no debe ser únicamente informada de los aspectos gubernamentales del proceso de transición, sino que debe ser incluida en ellos. A los ciudadanos se los debe educar sobre las opciones alimentarias, las oportunidades de la horticultura y las formas de acceder a los alimentos de los productores locales. Sus éxitos y retos en el curso de la adaptación darán forma a nuevas iteraciones del plan.
6. *Cambiar las políticas y los incentivos.* Ésta es la responsabilidad clave del gobierno, puesto que limita o bien amplía la capacidad de los grupos comunitarios, las empresas y las familias para comprometerse en el proceso de transición. Los cambios de política deben reflejar los intereses de los involucrados, pero debe diseñarse principalmente para promover los elementos de transición, más que los intereses a corto plazo de cualquier grupo particular.
7. *Supervisar y ajustar.* Una empresa de esta magnitud tendrá inevitablemente impactos no previstos y no intencionados. Por tanto, es esencial que se revise continuamente el progreso con miras a realizar los ajustes en el ritmo y la estrategia, a la vez que se mantiene una absoluta fidelidad a la tarea central de eliminar metódicamente los combustibles fósiles del sistema alimentario.

Comunidad

Lo que sigue son pasos a ser adoptados por grupos comunitarios voluntarios, a diferencia de los gobiernos. La Transition Network (www.transitionnetwork.org), o Movimiento de Transición,¹⁰ proporciona un modelo excelente para este tipo de acción comunitaria. Tales esfuerzos parecen funcionar mejor cuando el tamaño de la comunidad es tal que las reuniones pueden ser gestionadas por voluntarios y quienes participan en las reuniones no deben realizar largos trayectos.

Por lo tanto, en las grandes ciudades el plan de acción de resiliencia podría tener lugar a nivel de barrio, con delegados vecinales enviados ocasionalmente a reuniones coordinadoras de toda la ciudad. El solapamiento y el apoyo mutuo entre las organizaciones comunitarias y los esfuerzos de los gobiernos locales deben ser un tema de discusión y negociación.

1. *Evaluación del sistema alimentario local.* Este proceso de evaluación debería ser llevado a cabo en cooperación con el gobierno, para no duplicar las tareas. Grupos de ciudadanos voluntarios podrían estar en disposición de dar unas perspectivas que de otra forma podrían quedar fuera de los esfuerzos de evaluación del gobierno, como las oportunidades de huertos comunitarios o problemas con el acceso a los alimentos desde las fuentes locales.
2. *Identificar e implicar a quienes estén interesados.* Debería entrarse en contacto con los productores, los propietarios de tiendas, las cocinas públicas, los restaurantes, las escuelas y otras instituciones locales que producen o sirven comida, y ser invitados a que se unan a una iniciativa de relocalización voluntaria y a ofrecer sus aportaciones al proceso.
3. *Educar e implicar a la población.* Los grupos comunitarios pueden organizar eventos públicos para incrementar la conciencia acerca de la transición alimentaria. Los folletos y panfletos «Compra local», pagados y distribuidos por un consorcio de empresas locales (pero organizadas por grupos voluntarios), pueden incluir en una lista a los productores locales, los mercados agrícolas, los restaurantes y las tiendas.
4. *Desarrollar un único programa estratégico local.* Éste puede incluir mercados campesinos, AAC, huertos comunitarios, programas de comida escolar y cocinas públicas. El programa, basado en aportaciones de los interesados, podría mostrar objetivos y plazos límite establecidos mediante un ejercicio de colaboración dirigido a prever cómo podría ser el sistema local alimentario en el futuro después de que los combustibles fósiles hayan dejado de desempeñar un papel preponderante.

10. N. del E.: En España existe un movimiento afín; véase <http://movimientotransicion.pbworks.com>.

5. *Coordinarse con los programas gubernamentales.* Los esfuerzos voluntarios locales pueden tener un papel significativo para dar forma a las políticas del gobierno y para poner en práctica las estrategias de transición. Sin embargo, esto exige mantener abiertos los canales de comunicación, lo que a su vez será responsabilidad tanto del gobierno como de los grupos locales.
6. *Apoyar a las personas y a las familias.* Las personas probablemente cambian de hábitos alimentarios y de prioridades sólo si ven hacerlo a otras, y si sienten que sus esfuerzos son apoyados y valorados. Los grupos comunitarios pueden ayudar estableciendo nuevas normas de conducta mediante eventos públicos y artículos en los periódicos locales, y trabajando en las redes sociales existentes, las escuelas, las asociaciones de vecinos, las instituciones religiosas, etc. Se puede ofrecer ayuda práctica mediante fiestas de la conserva, fiestas de cultivo y recogida de hortalizas, y programas de recogida de las cosechas. Los expertos en alimentación local y horticultura pueden responder a las preguntas y preocupaciones. Se pueden crear instalaciones para el almacenamiento de comida como complemento a las despensas caseras.
7. *Supervisar y ajustar.* Todos estos esfuerzos deben ser continuamente ajustados para asegurar que todos los sectores de la comunidad están incluidos en el proceso de transición, y que el proceso funciona para todos tan fácilmente como sea posible.

Empresas e instituciones

Las empresas más relevantes son las granjas, las tiendas, los procesadores, los mayoristas y los restaurantes. Sin embargo, los pasos que se especifican a continuación también podrían ser útiles para organizaciones como escuelas, universidades y hospitales que reparten comida como un complemento de sus actividades.¹¹

1. *Evaluar las vulnerabilidades.* Toda empresa u organización que forme parte del sistema alimentario debe ver con sinceridad el impacto inevitable de unos precios más altos del combustible, y de la escasez de combustible, sobre sus actividades. Examinar escenarios basados en costes que dupliquen o tripliquen el precio del combustible para subrayar vulnerabilidades específicas.
2. *Elaborar un plan.* Desarrollar un modelo de negocio que funcione sin insumos de combustible fósil o disminuyéndolos continuamente. Especificar objetivos provisionales asequibles que avancen hacia el objetivo a largo plazo.
3. *Trabajar con el gobierno y con los grupos comunitarios.* Si asumimos que el gobierno desarrollará normativas para reducir el uso de combusti-

11. Para referencias adicionales véase Sustainable Table, www.sustainabletable.org/schools.

bles en el sistema alimentario y que las organizaciones comunitarias ofrecerán apoyo a los campesinos y a las tiendas de alimentación locales que encabezan la transición, tiene sentido dirigir los esfuerzos en lugar de esperar a que otros actúen.

4. *Educar e implicar a los proveedores y consumidores.* Ningún negocio es una isla. La transición florecerá mediante fuertes relaciones entre todas las partes.
5. *Supervisar y ajustar.* Para los negocios, un criterio obvio y esencia de su éxito es la rentabilidad. El balance ayudará a indicar qué estrategias de adaptación están funcionando y cuáles necesitan ser más trabajadas. Sin embargo, un resultado financiero negativo no constituye una razón para abandonar el objetivo esencial de la transición.

Individuo y familia

En última instancia, la transición alimentaria y agrícola pasa por las elecciones hechas en el mercado y por los platos consumidos en la mesa. Por lo tanto, las acciones de los individuos son tan importantes para el éxito de la transición como cualquiera que puedan emprender los campesinos, los gobiernos o las empresas de alimentación. Cualquiera puede dar inmediatamente los siguientes pasos:

1. *Evaluación de las vulnerabilidades y oportunidades alimentarias.* Revisar con sinceridad las compras mensuales típicas y pensar cuidadosamente en sus implicaciones. ¿Cuántos alimentos proceden de un radio inferior a 150 kilómetros? ¿Cuántos están empaquetados y procesados? ¿Cuántos platos están centrados en la carne? ¿Dónde se compra la comida? ¿Cómo se enfrentaría la familia a unos precios de los alimentos y del combustible dos o tres veces más altos?
2. *Elaborar un plan.* Crear un escenario alimentario ideal para la familia, que incluya la dieta, los hábitos de compra y los objetivos de cultivo de hortalizas. Identificar acciones concretas y un plazo de tiempo para encaminarse hacia este escenario. Colgarlas en casa en un lugar destacado.
3. *Huerto.* Incluso las familias sin acceso a la tierra pueden cultivar brotes en un bote o unas cuantas plantas en una jardinera en una ventana. Crear un huerto comunitario. Aprender y enseñar a otros hortelanos.
4. *Desarrollar las relaciones con los productores locales.* Incluso las familias con grandes huertos probablemente no podrán cultivar todos sus alimentos. Habrá que acudir a los mercados locales de campesinos o a las AAC para tener acceso a alimentos cultivados localmente y reducir la dependencia del sistema alimentario mundial.

5. *Implicarse en los esfuerzos comunitarios.* Conocer a los vecinos y comparar experiencias de horticultura con ellos. Juntos, crear una «biblioteca de herramientas» de la que los miembros puedan pedir prestadas herramientas de cultivo y libros de horticultura. Organizar o participar en fiestas de cultivo, cosecha, intercambio de alimentos y encurtido.
6. *Supervisar y ajustar.* Los planes de familia deberían revisarse todos los meses. Evaluar el éxito en reuniones familiares y revisar el plan si es necesario.

Conclusiones

El sistema alimentario norteamericano depende de unos insumos masivos pero inestables de combustibles fósiles. Ante la disminución de las reservas de estos últimos, se debe reinventar el sistema alimentario. El nuevo utilizará menos energía, y la energía que consuma procederá de fuentes renovables. Podemos empezar de inmediato la transición al nuevo sistema mediante un proceso de cambio planificado, escalonado y veloz. La alternativa no planificada —tener que empezar desde cero tras el colapso— sería caótica y trágica.

Las semillas del nuevo sistema alimentario ya se han plantado. Los campesinos estadounidenses han estado reduciendo su consumo de energía durante décadas y están utilizando menos fertilizantes y pesticidas. El número de granjas orgánicas, mercados campesinos y actividades de AAC está creciendo rápidamente. Cada vez más gente se plantea de dónde procede su comida.

Se trata de pasos adelante importantes, pero queda mucho por hacer. Nuestro nuevo sistema alimentario necesitará más campesinos y granjas más diversificadas, alimentos menos procesados y empaquetados, y menos transporte a larga distancia de los alimentos. Los gobiernos, las comunidades, las empresas y las familias tienen un papel que desempeñar para reinventar un sistema alimentario que funcione con fuentes de energía renovables y limitadas para alimentar a largo plazo a nuestra población.

Bibliografía

- ANDREWS, P., A. MITCHELL y J. GLOVER (2009): «Living Soil, Food Quality and the Future of Food» (artículo presentado en la reunión de la American Association for the Advancement of Science, 12-16 de febrero de 2009, Chicago, Illinois; disponible en www.organic-center.org/science.nutri.php?action=view&report_id=14; acceso el 4 de marzo de 2009).
- BADGLEY, C. *et al.* (2007): «Organic agriculture and the global food supply», *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 22, pp. 86-108_TED_2007_15.pdf.

- BENBROOK, C. (2009): «The Impacts of Yield on Nutritional Quality: Lessons from Organic Farming», *HortScience*, vol. 44, n.º 1, pp. 12-14.
- BIOPACT (2007): «Nitrogen fertilizer makes up 48% of rapeseed energy balance», resumen en inglés del estudio original francés, disponible en <http://news.mongabay.com/bioenergy/2007/04/nitrogen-fertilizer-makes-up-48-of.html> (acceso el 10 de marzo de 2009).
- CLEVELAND, C. J. (1995): «The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture, 1910-1990», *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55, pp. 111-121.
- CNUDL (Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación) (2008): «Use of biochar (charcoal) to replenish soil carbon pools, restore soil fertility and sequester CO₂», presentación al Grupo de Trabajo Ad Hoc sobre la Acción Cooperativa a Largo Plazo bajo la Convención, Poznan, 1-10 de diciembre de 2008 (disponible en <http://terrapreta.bioenergylists.org/zteinerpoznanbiochar>).
- DAVIS, D. R. (2009): «Declining Fruit and Vegetable Nutrient Composition: What Is the Evidence?», *HortScience*, 44, pp. 15-19.
- DoA (Departamento de Agricultura de EE.UU.) (2009a): Servicio de Investigación Económica, «Briefing Room – Farm Structure: Questions and Answers» (disponible en www.ers.usda.gov/Briefing/farmstructure/Questions/aging.htm; acceso el 10 de marzo de 2009).
- (2009b): Servicio de Marketing Agrícola, «Wholesale and farmers markets—Farmers market growth, 1994-2008» (disponible en www.ams.usda.gov; acceso el 4 de marzo de 2009).
- DoE (Departamento de Energía de EE.UU.) (2009): «Transportation Energy Data Book: Edition 27» (<http://cta.ornl.gov/data/download27.shtml>; acceso el 4 de marzo de 2009).
- D'SOUZA, Gerard y John IKERD (1996): «Small Farms and Sustainable Development: Is Small More Sustainable?», *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 28, pp. 73-83.
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (2008): «Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2006».
- ERICKSON, Bruce y Alan MILLER (2009): «Factors shaping price and availability in this year's fertilizer market», Purdue Extension, Universidad de Purdue, www.agecon.purdue.edu/news/financial/Fertilizer_Market.pdf.
- FAO (2009): «Mixed crop-livestock farming: A review of traditional technologies based on literature and field experience» (www.fao.org/docrep/004/y0501e/y0501e00.htm; acceso el 4 de marzo de 2009).
- GREEN, R. E. *et al.* (2005): «Farming and the fate of wild nature», *Science*, vol. 307, n.º 5.709, pp. 550-555.
- HALL, Charles A. S. (2008): «Provisional Results from EROI Assessments», *The Oil Drum*, publicado el 8 de abril de 2008 en www.theoil Drum.com/node/3810.
- HEINBERG, R. (2003): *The Party's Over: Oil, War and the Fate of Industrial Societies*, New Society Publishers, Gabriola Island, Canadá. (Ed. cast.: *Se acabó la fiesta. Guerra y colapso económico en el umbral del fin de la era del petróleo*, Barrabés, Huesca, 2006.)
- HELLER, M. C. y G. A. KEOLEIAN (2000): «Life Cycle-Based Sustainability Indicators for Assessment of the U.S. Food System», Universidad de Michigan.

- HOLE, D., A. PERKINS, J. WILSON, I. ALEXANDER, P. GRICE y A. EVANS (2005): «Does organic farming benefit biodiversity?», *Biological Conservation*, vol. 122, pp. 113-130.
- HOWARD, A. (1943): *An Agricultural Testament*, Oxford University Press, Londres, disponible en http://journeytoforever.org/farm_library/howardAT/ATtoc.html.
- JASINSKI, S. M. (2009): «Phosphate Rock», *U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries* (disponible en http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock; acceso el 3 de marzo de 2009).
- JOLLIFFE, P. A. (1997): «Are mixed populations of plant species more productive than pure stands?», *Oikos*, 80, pp. 595-602.
- LEIGH, G. J. (2004): *The World's Greatest Fix: A History of Nitrogen and Agriculture*, Oxford, Oxford University Press.
- LUND, V. y B. ALGERS (2003): «Research on animal health and welfare in organic farming—a literature review», *Livestock Production Science*, vol. 80, n.º 1-2, pp. 55-68.
- MARRIOTT, E. E. y M. M. WANDER (2006): «Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems», *Soil Science Society of America Journal*, vol. 70, n.º 3, pp. 950-959.
- MIRANOWSKI, J. (2004): «Energy consumption in U.S. agriculture» (presentado en la conferencia USDA/Farm Foundation «Agriculture as a Producer and Consumer of Energy», Arlington, Virginia, 24-25 de junio de 2004).
- NATIONAL BIODIESEL BOARD, «Biodiesel proven to have a significantly positive net energy ratio», nota de prensa publicada el 6 de febrero de 2008 en <http://nbb.grassroots.com/08Releases/EnergyBalance/>.
- ORGANIC TRADE ASSOCIATION, «Organic Industry Overview» (disponible en www.ota.com/organic/mt.html; acceso el 6 de marzo de 2009).
- PIMENTEL, David y Marcia PIMENTEL (2008): *Food, Energy, and Society*, 3.ª ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 137-159.
- PIRINGER, Gerhard y Laura STEINBERG (2009): «Reevaluation of Energy Use in Wheat Production in the United States», *Journal of Industrial Ecology*, 10, pp. 149-167.
- ROSSET, P. M. (1999): «The Multiple Functions and Benefits of Small Farm Agriculture» (ponencia presentada en la conferencia de la FAO/Holanda «Cultivando nuestro futuro», Maastricht, Países Bajos, 12-17 de septiembre de 1999).
- RUSSELLE, M. P. y A. J. FRANZLUEBBERS (2007): «Introduction to Symposium: Integrated Crop—Livestock Systems for Profit and Sustainability», *Agronomy Journal*, 99, pp. 323-324.
- SHIVA, Vandana (2008): «Food, Finance & Climate», *ZSpace*, 22 de noviembre de 2008 (en www.zcommunications.org/zspace/commentaries/3689).
- THE SOIL ASSOCIATION, «A Sustainable Food Plan for Britain» (disponible en www.soilassociation.org y también en <http://tinyurl.com/af6w7c>; acceso el 11 de marzo de 2009).
- UNCTAD (United Nations Environment Programme) (2008): Capacity-building Task Force on Trade, Environment and Development, «Organic Agriculture and Food Security in Africa», www.unctad.org/trade_env/test1/publications/UNCTAD_DITC.
- VAN DER WERF, H. M., J. TZILIVAKIS, K. LEWIS y C. BASSET-MENS (2007): «Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods», *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 118, n.º 1-4, pp. 327-338.
- WORLDWATCH INSTITUTE (2006): «Biofuels for Transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century».

CUESTIÓN DE PALABRAS

RAFAEL FOMBELLIDA

La casa verde ónice

«¿Me encuentra muy afilado? Han dicho que lo soy.
¿Hará usted el favor de distinguirme como a un ser más amable?»
Mascaba cada frase, cada mota de voz, cada palabra
asida a su sofisma. Y la hacía rodar como un rumiante
garganta abajo el nudo de alimento, un nudo de saber
donde el forraje macerado era
un compuesto de ideas sensibles o rugosas,
de orquídeas blancas o legumbres crudas,
la crin de un alazán o las cerdas de un puerco. Y ese rostro
surcado como un fósil por arrugas de piedra iba volcándose
sobre el salpicadero al tiempo que charlaba, tonto, fijo
en el rítmico baile del limpiaparabrisas
«que es como el verso inglés, de dos, de cuatro acentos».
«Adorable su esposa, inteligente. Y cómo se percibe que posee un cerebro.
Qué bien sabe callar cuando los hombres conversan sobre cosas importantes,
cristianismo, lingüística, arte abstracto. Cómo sabe eludir el parloteo
de otras grullas chillonas. Para éstas
propondría una pena: muchas décadas encerradas ante un fogón enorme,
embreadas, untadas con aceite...». El automóvil
viraba a la derecha, y la avenida jalonada de luces amarillas

159

semejaba una pista de despegue brillando al aguacero de lo irreal.
Al llegar a la casa su lengua agonizó
y era ya una parodia el idioma de cal que un resurrecto
idiota farfullaba con las manos blancuzcas
cruzadas sobre el bulto del estómago.
Como un autómata desajustado aún pudo
refrescar sus mejillas en la esfera de pórvido pulido
que ornaba, majestuosa, la escalera de mármol.
Somnoliento cebú de rostro azafranado,
vaciando un borborigmo, «...poesía..., ...la poesía...», se dejó abandonar
entre los ocho brazos de sus acompañantes.
Y atravesó el umbral verde de ónice
como el príncipe beodo de una tribu aborígen,
sujeto por los codos, haciendo reverencias a los gatos, al cielo, a los mendigos.
Sentí piedad del dios y revolqué mi fe por donde fue pisando
mientras él, asustado, encogía su vientre envuelto en sucio hedor
y vomitaba gloria, magisterio,
su corona de hiedra, su gracia enajenada.

* * *

Un soldado de la gran guerra

(Cementerio militar, Yprès)

Bastó para morir un campo de centeno en la hoguera de Europa.
Bastó para morir la carcasa de acero, un atracón de coles o boniatos
hervidos en un cazo de hojalata, el fango de una zanja
tras diecisiete meses sin salir a mirar la hierba que había afuera.
Bastó para morir tener una familia analfabeta, la enérgica medida
de una enfermera jefe, un andrajo raído como divisa heroica,
The ragtime War aireado, entre tragos de algún brebaje seco, en la taberna.
Bastó para morir someterse a una orden, «...fuera de las trincheras,
hijos de mala madre», «...chicos, si no tomáis esa colina, os capo».
Bastó para morir distraerse un minuto mondando una patata,
palmeando la espalda de un camarada sin cabeza.
Bastó para morir no tener tripas, desmoronarse de hambre entre los abedules,
patinar en la sangre de un *spahi* rociado de metralla.

160

Bastó para morir mesarse los rabiones de la barba
ante el cráneo estallado de un oficial amigo,
bastó haber violentado a un sacerdote
en la aldea quemada de Fontaine-les-Fôrets.
Para morir igual que todos estos,
bastó haber desollado ratoncillos y topos, bastó haber arrancado los testículos
a un animal doméstico, bastó haber ensartado el corazón
de un enemigo en la dorada punta de su emblema.
Para que una quijada y ocho vértebras se emborracharan de humus
en un campo de cruces, bastó haber vaciado algún estómago
o bebido la orina de la intérprete yanqui.
Para que una mandíbula exhibiera su visaje burlesco
en este cementerio parecido a un viñedo,
bastó haber respirado un cóctel de fosgeno y gases ulcerantes,
bastó haber mutilado a la *nurse* galesa que quiso resistirse,
y posar su manojó de dedos amputados en la corriente de un arroyo lírico.
Bastó para morir tan poca cosa, que el premio sólo fue una lápida anónima.
Una tumba sin nombre que asegura al caído un lugar en el aula
de las equivalencias, las versales romanas de una máxima
labrada en la columna de un monóptero, y el alivio sonriente de los vivos,
mercaderes, monarcas, a quienes nada cuesta sepultar en laurel
y con grandilocuencia a los vencidos. «Sus almas vivirán entre nosotros...»,
«...que Dios lo acoja a su derecha».

Para morir honrado y con un nombre propio hay que ser algo más
[que un pobre perro]
que se dejó los dientes mordiendo por su rey.
Europa es una hoguera que exige ser notorio
y algo desvergonzado si se quiere finar con honores de triunfo.
Siempre hay alguien que bruñe la fíbula de acero de los héroes,
hay alguien que sepulta en una ciénaga sus jóvenes promesas,
alguien que mama el suero del espanto, la lealtad, la fe,
para que otros celebren, doliéndose por nadie, la gloria de sí mismos.

* * *

Dem Deutschen Volke

Los tres hermanos Schussnitz había revueltos juntos,
con el padre y la madre, los pilones de estiércol pomeranos.
«¿Qué buscáis?» «Sólo pan para las ocas
y lombrices de pesca». Los tres niños albinos
se estaban alineando ante el fotógrafo. Carl, el más alto,
sonreía seguro al objetivo tomando por los hombros a los otros.
Los tres hermanos Schussnitz recogían plumas de pato y ganso
para que su mamá llenara los colchones. Cuando papá volvía
del horno de hacer cal, solían alejarse dejándolos a solas.
Luego Michael, o Paul, porque Carl estudiaba y no quería saber
lo que ocurría fuera de su mente,
pasaban una esponja de colores pastel por los arcos ciliares
y las órbitas malva de la madre.
En la escuela figaban el breviario de frases alemanas.
Si su tipografía era solemne, las cosas que decía no lo eran mucho menos.
Alles Leben ist Leiden...; Der Mensch leidet so tief...;
Ein Volk, ein Reich, ein Führer...
Se cogían la mano al regresar a casa
y escudriñaban cautos el perfil de sus padres.
«El espíritu está en el culo del mundo. ¿Sabrías extraer su destilado?»
Carl, en la catequesis, temía siempre a Dios, pero era el párroco
quien castigaba a oscuras dentro del sobresótano. Carl lloraba sin mañas,
lloraba caudalmente. Si se abría la puerta, sabía que tendría que beber
gotas de un destilado del espíritu.
«¿Sabes sacar el alma?» Carl sorbía gimiendo
al dictado del párroco. El hombre, algo agitado, repetía
mientras limpiaba grumos de su alma de la boca del niño:
«Acibarado es el gusto del espíritu, porque es sabor de sumisión a Dios».
Hacia el cuarenta y uno, los ya mocitos Schussnitz
reían entregándose a las bromas. «¿Has visto tú a una rata correr sobre
[dos pies?]«Sí, claro, al anticuario de Seebrücke. Un perro le mordía los cojones».
Los tres hermanos Schussnitz llegaron a Tourcoing en un vagón
[de carga militar.]
Viejos y adolescentes, fanáticos y audaces, obedientes y crédulos.
Cenaron carne en lata sobre la nieve y, luego,
anillaron en ondas la blanca nochebuena con el humo
de los dos cigarrillos que les correspondieron.

«Primera navidad lejos de casa...». Añoraban su aldea mirando a las
[estrellas.]

Bajo una placa de hormigón, los tres hermanos Schussnitz
yacen. Bajo mis botas. Como Carl es más alto, está en el centro.
¿El sabor de la tierra será sabor de Dios? ¿Estará ahí el espíritu,
en el culo del mundo?

* * *

El calor se retira de las cosas

Aus den Dingen schwindet die Wärme

WALTER BENJAMIN

Frótate muy despacio. Que el rozamiento te seduzca y lave.
No te achate la fe. Desbrava tu canal marcándote las yemas
en el hábil mester de darte gloria. Es todo impunidad este calor
y ninguna moral vendrá a contravenirlo.
Lo mismo que el sudor de la parrilla rebrota en las cocinas encendidas;
igual que un filamento incandescente
se aguja perforando tus pupilas despiertas,
date más gloria, más, contra la podredumbre de este huraño baldío
que es el mundo al dejar que las cosas se enfríen.
No hay motivo para apartar del fuego lo que caliente reza
ni para destemplan el fresón embotado de zumo blanco y agrio.
Taja la almendra, taja, mójala en su demonio.
Dispersa con carbón a la serpiente del remordimiento.
Cada cuerpo se roza contra su decadencia. Cada cuerpo atesora
su dinámica térmica y guarda el privilegio de coruscar vicioso
en el rescoldo que origina.
Nadie duda de que el calor se bate en retroceso
porque Dios lo persigue arrugando los pliegues de la carne.
Si el calor se retira, será debilidad entregarte a esa ley.
Nunca dejes que el odre se reseque, y atiza el braserío.

163

La piel, las cucharillas, la vajilla al fregarse, se frotan y acompañan
[en la luz.]

Al friccionar reintegras la razón a su área, al tocarte te unges
con hierba y con verano contra las prescripciones de la tabla sagrada.
Tienta el músculo crudo y escáldate con agua bendecida de ánimo.
Caldea la tensión del tegumento y limpia el halo ocre de tus ojos hundidos.
Has merecido un cuerpo y un espíritu que actúen contra el tiempo, la doctrina,
el bienestar, la holgura, la continencia y la pureza.
Roza tu raza contra la molicie
y trajina más ancha bajo el brío solar.
Sé la revolución de tu propio sabor
y que tu espasmo deje
su festiva energía en las cosas inertes y en las vivas.

CITA

La austeridad no es hoy en día un simple instrumento de política económica al que se tenga que recurrir para superar una dificultad temporal, coyuntural, con el propósito de permitir la reanudación y el restablecimiento de los viejos mecanismos económicos y sociales. Ésta es la forma en que los grupos dominantes y las fuerzas políticas conservadoras conciben y presentan la austeridad, pero no es así para nosotros. Para nosotros, la austeridad es un medio para oponerse con radicalidad y sentar las bases para la superación de un sistema que ha entrado en una crisis estructural y de fondo, no coyuntural, de un sistema cuyas características distintivas son el derroche y el despilfarro, la exaltación de los particularismos y del individualismo más desenfrenado, del consumismo más insensato. La austeridad significa rigor, eficiencia, seriedad, y significa justicia; es decir, lo contrario de todo lo que hemos conocido y sufrido, y que nos ha llevado a la crisis gravísima cuyos estragos hace años que se acumulan y que en la actualidad se manifiesta en Italia en toda su dramática dimensión.

ENRICO BERLINGUER, «Austerità. Occasione per trasformare l'Italia» (1977)



BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN

Nombre y apellidos
Dirección C.P.
Ciudad Provincia
NIF Teléfono
E-mail.....

SUSCRIPCIÓN POR 2 NÚMEROS DESDE EL PRÓXIMO NÚMERO

Tarifa:

- España 20 euros
- España (reembolso) 25 euros
- Europa 30 euros
- Resto del mundo 35 euros

NÚMEROS ATRASADOS QUE SE DESEA RECIBIR

Nº atrasados hasta el nº 99 (en existencia) 3 euros

Forma de pago:

- Talón adjunto a nombre de Icaria editorial
- Transferencia a la c/c de Icaria editorial de La Caixa de Pensions
IBAN ES20 2100 0889 4202 0026 9379,
BIC (Swift) CAIXESBBXXX
- Domiciliación bancaria:
Nº de cuenta
Titular.....
Banco
- Tarjeta Visa
N.º tarjeta
Fecha de caducidad

SUGERENCIAS

Apartado de Correos 30059, Barcelona

SUSCRIPCIONES

e-mail: comandes@icariaeditorial.com

e-mail: icaria@icariaeditorial.com

Tel.: (34) 93 301 17 23/26

De lunes a jueves de 9 a 17 h.

Viernes de 9 a 15 h.

Fax: (34) 93 295 49 16