

Hacia un mundo de renovables
en el contexto del cenit
de producción petrolífera

La tasa de retorno energético

Mariana Ballenilla y Fernando Ballenilla

1

Es clara la urgencia de una transición hacia fuentes renovables de energía. Pero este importante tránsito no se debe de hacer de forma irreflexiva. En particular, es necesario considerar seis aspectos de las diversas fuentes renovables: la tasa de retorno energético (cuanta energía nos dan frente a la que invertimos en el proceso); el carácter no renovable de la infraestructura de captación de energía; su vulnerabilidad frente a posibles cambios socioeconómicos drásticos; su capacidad más o menos limitada; el impacto ambiental que pueden provocar; y la equidad, esto es, que su explotación no beneficie sólo a unos pocos a costa del resto.

Fueron el periódico *El País*, en su suplemento dominical del 9 de mayo de 2004, y acto seguido las revistas *El Ecologista* y *National Geographic*, en sus números de junio, los medios gráficos de ámbito estatal pioneros en advertir, casi simultáneamente, de la inminencia del cenit de producción petrolífera [2]. En esas fechas el barril ya estaba alrededor de los 35 \$ tras dos años de subida desde los 20 \$.

En noviembre de 2007 el precio del barril ha rondado los 100 \$ por barril, y todo parece indicar que no se detendrá ahí. Por otra parte, instituciones oficiales reacias a reconocer cualquier límite en el crecimiento económico continuo admiten la posibilidad de un cenit [3], aunque retrasan su fecha respecto a la de ASPO, que mantiene que el cenit de todos los líquidos puede estar produciéndose ya.

De hecho, los datos de septiembre de 2007 según *The Oil Drum* [3] indican que la producción mundial de petróleo convencional alcanzó su cenit, por el momento, en 2005, con 74,27 millones de barriles de petróleo al día (mbpd), bombeando en junio de 2007 sólo 73,01 mbpd. En el caso del conjunto de petróleos (tanto

convencionales y no convencionales), se alcanzó un cenit en 2005, con poco más de 85 mbpd, decayó y se volvió a alcanzar en 2006, con el bombeo de 85,54 mbpd. Aunque se estima un crecimiento en la producción total, a mediados de 2007 se está bombeando menos: sólo 84,5 mbpd (figura 1).

De confirmarse que los 85,54 mbpd suponen el cenit de producción petrolífera, lo que vendría a continuación sería el decrecimiento de la producción, entre un 3 y un 5% anual según el modelo teórico, pero con el inquietante presentimiento de que puede ser mayor, como muestran los descensos anuales de dos dígitos verificados en importantes campos ya en declive (Mar del Norte, Cantarell, Oman...). A esta situación hay que añadir que el gas natural, mucho más limpio en cuanto a emisiones de CO₂, no nos vendría a salvar, ya que el cenit conjunto de petróleo y gas lo sitúa ASPO sobre 2010 o 2012 (figura 2).

Si además nos fijamos en la figura 3, en la que se relaciona la producción de petróleo prevista por ASPO con el incremento de población previsto por ONU [6], aparecen fuertes declives de consumo per cápita. De hecho, el pico de consumo per cápita se alcanzó en 1979, produciéndose a continuación un descenso brusco relacionado con el cierre del estrecho de Ormuz cuando los iraníes derrocaron al Sha.

A raíz de la escasez coyuntural de petróleo, se produjo una recesión mundial y disminuyó durante varios años el consumo de crudo hasta bien entrada la década de los 80 (figura 2), pero a pesar del incremento de producción posterior, como la población seguía aumentando, no se ha vuelto a alcanzar un consumo per cápita tan alto como en 1979. En la actualidad nos encontramos en una meseta con una suave pendiente descendente, que aquí –en los países desarrollados– no notamos.

De hecho, a la vista de la gráfica, se explican cosas como la masiva inmigración que se está produciendo hacia los países ricos. Está claro que en este mundo, con la riqueza injustamente distribuida, si en los países ricos no se nota la disminución del consumo energético per cápita, es porque en otros lugares se está produciendo una caída más acusada, con todo lo que eso significa, no ya en la calidad de vida, sino en las posibilidades de supervivencia. Pero será a partir de 2010 cuando se darán descensos importantes de consumo por individuo que ya serán imposibles de escamotear, ni siquiera en el mundo rico.

El siglo de las renovables

Valga esta introducción para señalar que, inevitablemente, el siglo que acaba de comenzar, será el de la transición hacia las renovables. Esta transición no se dará

porque el capitalismo neoliberal abandone su filosofía de maximizar y concentrar el capital en el mínimo tiempo, sin importar sus consecuencias futuras (por ejemplo el incremento del CO₂ atmosférico y su efecto invernadero).

La transición a las renovables se va a dar, simplemente, porque es imprescindible. Siempre que queramos conservar algunas cosas buenas de nuestra actual civilización, por ejemplo la información acumulada y algunas tecnologías, consumidoras de energía, que nos hacen la vida más longeva y cómoda. Y será inevitable porque no habrá otro tipo de energía disponible para este menester [7].

Estamos asistiendo en la actualidad a la confusa y paradójica decantación de muchos grupos empresariales y líderes políticos (incluso imperiales) hacia las renovables, y las personas no avisadas, pueden llegar a pensar que por fin se está priorizando el bien común frente al interés privado, y que desde los centros de poder se está apostando por el respeto al medio ambiente. Sospechamos que se trata, más bien, de una huida hacia delante provocada por mencionada escasez de energía fósil, y justificada con la lucha contra las emisiones de CO₂ y el incremento del efecto invernadero.

Factores a tener en cuenta en una transición hacia las renovables

Cuando hablamos de fuentes energéticas renovables, como dependen de un flujo continuo de radiación procedente del sol, o de la radiación térmica de la tierra o del campo gravitatorio (que siempre están ahí), tendemos a pensar que su desarrollo sólo depende de nuestra voluntad para utilizarlas, pero no es así. Éstos son algunos de los problemas que presentan:

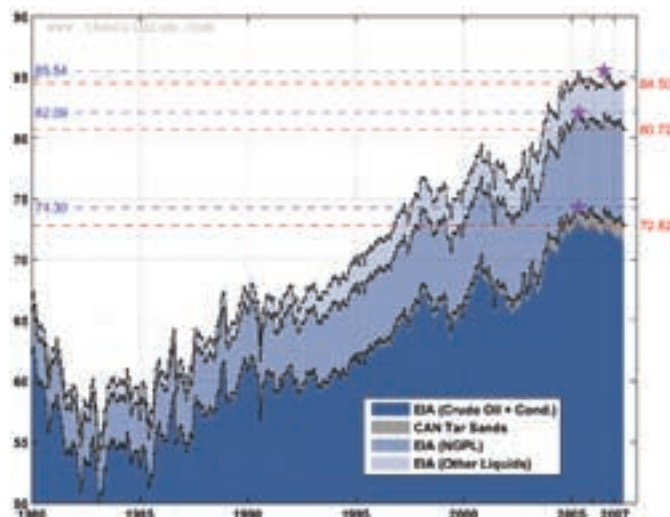
- ▶ El flujo energético del que proceden las renovables es gratis, pero los sistemas de captación requieren energía para su puesta en marcha ¿Obtenemos más o menos energía que la que nos ha costado?
- ▶ El flujo energético del que proceden es continuo y por lo tanto renovable, pero los sistemas de captación están hechos de recursos que no lo son, son recursos finitos.
- ▶ Muchas de las tecnologías actuales de aprovechamiento de las renovables, por su sofisticación dependen del correcto funcionamiento de nuestra actual civilización [8].
- ▶ La eficiencia de las renovables, y por lo tanto su capacidad para aportar energía es limitada, está relacionada con condiciones locales, donde una renovable puede ser muy productiva, otras pueden resultar ineficientes.
- ▶ Por otra parte hay que pedirles que sean respetuosas con el medio ambiente.
- ▶ Y también, que su explotación no beneficie sólo a unos pocos.

Estos seis aspectos a considerar de las renovables –tasa de retorno energético, carácter no renovable de la infraestructura de captación, vulnerabilidad frente a un desmoronamiento de la

1, 2, 3 y 4: La disponibilidad de petróleo barato tiene los días contados.

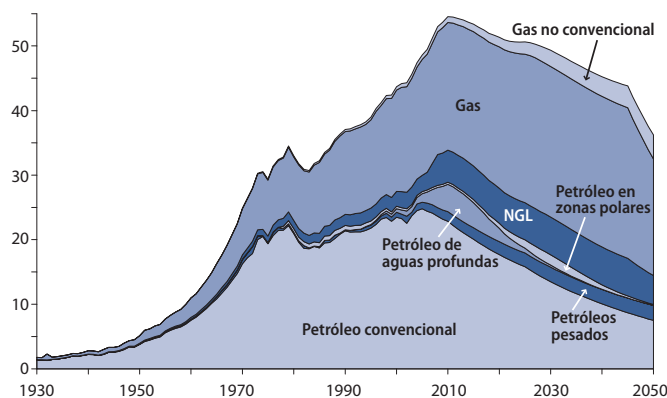


FIGURA 1: PRODUCCIÓN MUNDIAL DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS



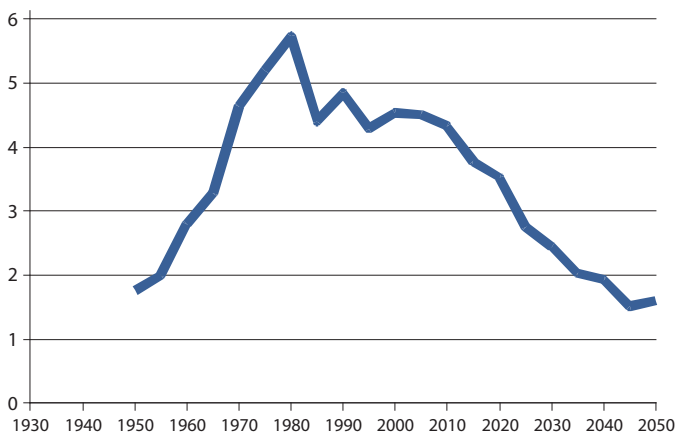
En mbpd (millones de barriles de petróleo al día) Fuente: [4]

FIGURA 2: PROYECCIÓN DE ASPO SOBRE EL CENIT DE PETRÓLEO Y GAS



Datos en Giga-barriles de petróleo equivalente. Fuente: [5]

FIGURA 3: BARRILES PER CÁPITA



civilización industrial, capacidad limitada, impacto ambiental y equidad— deben tenerse muy en cuenta en estos momentos en que la escasez de energía fósil se empieza a hacer notar. De lo contrario, puede que en vez de facilitar el aterrizaje en el mundo de baja energía que preveía Odum [9], lleve a malgastar recursos que podían ser mejor aprovechados, o bien provoque imprevistas y negativas consecuencias.

Vamos a analizar más el primero de los aspectos, el costo energético de los sistemas de obtención de energía renovable, aunque también haremos algunas reflexiones sobre los otros cinco.

La tasa de retorno energético

Cuando se analiza cualquier máquina o proceso de transformación de un tipo de energía en otro, tenemos que la energía útil más las pérdidas, en aplicación del primer principio de la termodinámica, es igual a la cantidad de energía que entra en el proceso procedente de la fuente. Desde el punto de vista del segundo principio de la termodinámica, la energía útil nunca será igual a la energía obtenida de la fuente, ya que siempre se producirá una pérdida de energía por disipación en forma de calor (figura 4).

FIGURA 4: PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA FUENTE EN ENERGÍA ÚTIL



Conocemos por eficiencia el cociente entre Energía útil / Energía fuente. Cuando decimos que la eficiencia de un motor de un coche es de un 20%, queremos indicar que para obtener un 20 julios de energía mecánica útil (para transportarnos) necesitamos 100 julios de energía química de la gasolina (que es la fuente).

Cuando hablamos de generación de energía, en realidad no estamos generando nada, lo que hacemos es utilizar una máquina o un proceso que transforma determinado tipo de energía (la fuente), que no nos resulta útil tal cual está, en otro tipo distinto que sí tiene utilidad. Como hemos visto, en ese proceso se producen pérdidas, y será más o menos eficiente en la medida en que consigamos minimizarlas.

Pero para desarrollar y mantener el proceso de transformación energética hace falta invertir energía útil en crear su infraestructura, mantenerla y mantener el proceso. Mientras hemos disfrutado de la disponibilidad de energía barata, no nos

ha preocupado mucho del costo energético de poner en marcha y mantener un proceso para obtener energía útil, es decir, con poca entropía y fácilmente manejable. Si los números (económicos) salían, era suficiente, ya que la energía para su puesta en marcha y mantenimiento no era un factor relevante en esos números.

FIGURA 5: ENERGÍA ÚTIL INVERTIDA EN UN PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA



Sin embargo, en la actualidad, cuando ya estamos en el cenit de producción petrolífera o en sus aledaños, interrogarse sobre cuánta energía útil me va a aportar un determinado proceso de transformación de energía, y compararlo con la energía que ha supuesto ponerlo en marcha y mantenerlo, es de las preguntas más pertinentes que se pueden hacer (figura 5).

La respuesta a esta pregunta es la TRE [10], o Tasa de Retorno Energético (EROEI en inglés). Se calcula dividiendo la energía útil que dicho proceso nos retorna (ER) entre la energía útil (EI) que hemos invertido en desarrollar y mantener ese proceso de transformación de energía: $TRE = ER / EI$

Si poner en marcha y mantener un determinado proceso de obtención de energía a lo largo de su vida útil me ha supuesto utilizar 2 Gigajulios, y durante todo ese tiempo he obtenido 40 Gigajulios, la TRE es de 20. Obtengo veinte veces la energía invertida en el proceso, es por tanto un proceso rentable energéticamente. Sin embargo, un proceso con una TRE igual o menor de 1 no es rentable energéticamente, y se trataría más bien de un sumidero de energía. Cuando se trata de evaluar procesos de obtención de energía útil, la TRE debe ser lo más alta posible.

Es relativamente fácil determinar la energía útil en mantener el funcionamiento del proceso, también puede serlo llevar la contabilidad de la energía invertida en mantener la infraestructura del proceso, pero ¿Cómo evaluar la energía invertida en la creación del propio proceso? ¿Debe incluirse la construcción de la fábrica? ¿la fabricación del cemento? ¿La de la maquinaria? ¿La minería del metal con que se fabricó la maquinaria? Es un problema difícil, y además no hay un criterio consensuado sobre cómo hacerlo.

En principio, será más fiable un cálculo de la TRE cuanto más se haya especificado cómo se ha realizado, y cuantos más elementos se consideren en ese balance. Por otra parte en el balance también se debe considerar la energía aportada por los subproductos.

Como vemos, tanto la claridad del concepto del índice como su utilidad resultan evidentes, pero donde comienzan las dificultades es a la hora de determinar su valor. La figura 6 presenta la TRE de distintas fuentes de energía, recogiendo resultados de varias revisiones. Como no existe todavía un criterio estándar para su cálculo, los datos que presenta hay que tomarlos con escepticismo, y tener en cuenta que, en general, la TRE real será menor, incluso mucho menor, ya que en muchos casos no está incluida la energía invertida en mantener la infraestructura del proceso, y menos aún la invertida en crearla.

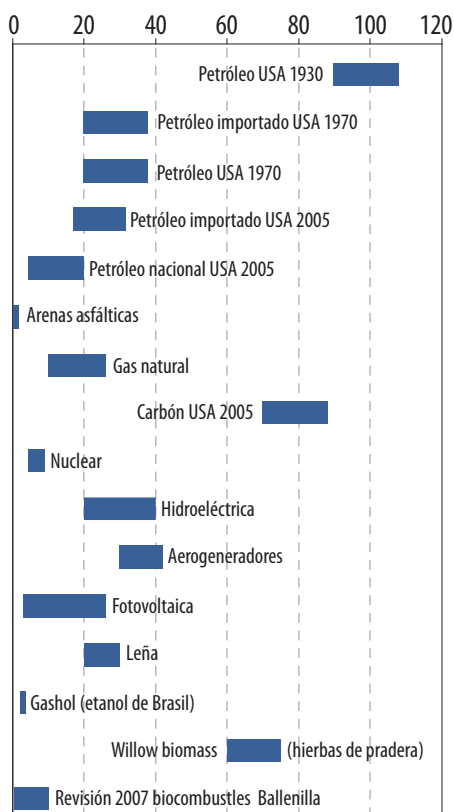
Además, no hay que perder de vista que se trata de una tasa situada. Es decir, la TRE para un mismo proceso varía con el año y el contexto. No es lo mismo un cultivo energético en Alemania, con su perfecta red de carreteras, que en el Congo, ya que allí habría que contabilizar el mayor mantenimiento de los vehículos y las numerosas roturas de ejes causadas por una red de transportes más deficiente. Como tampoco rinde igual un panel fotovoltaico en Almería que en Escocia. De manera que, para realizar comparaciones, además del valor del índice conviene saber el año y el contexto en que se calculó.

Aunque se trata de un índice complejo y difícil de evaluar, cada vez resulta más necesario. Como cualquier índice, cuando se calcula, pueden aparecer incertidumbres sobre cómo hacerlo, que obligan a tomar decisiones, pero como su utilidad es comparar procesos, lo deseable es que se llegue a decisiones consensuadas sobre su cálculo.

Cuando se tengan, permitirá discriminar mejor sobre las distintas alternativas renovables, ya que no tiene sentido invertir en sistemas de los que no vayamos a obtener más energía a lo largo de su vida útil que la empleada en ponerlos en marcha. La TRE de la leña es un buen indicador de lo que sería una TRE mínimamente aceptable, ya que es la primera fuente de energía exosomática que aprendió a utilizar la humanidad hace medio millón de años.

En ese sentido los estudios que simplemente hacen un cálculo económico y de la capacidad de determinada fuente renovable para cubrir parte de la demanda energética, son insuficientes para valorar

FIGURA 6: TASAS DE RETORNO ENERGÉTICO (TRE)



Fuente: [11]

la posibilidad de implementar y desarrollar un sistema energético de renovables, al no considerar la TRE. Y esto es más cierto aún en las proximidades del cenit de producción petrolífera, ya que antes la energía barata podía encubrir el pobre, o incluso negativo, balance energético de un sistema renovable.

Del mismo modo, cabe preguntarse si la permanente avidez de subvenciones y exenciones fiscales de los lobbies empresariales de renovables son ocasionados por la habitual tendencia del capital privado (renovable o no) a parasitar los recursos del Estado, o porque realmente necesitan una *empujón* para que la economía de escala mejore los resultados, o porque tienen una TRE desastrosa, que impide que compita con éxito con otras alternativas energéticas (a no ser que tengan subvenciones).

Otros factores relevantes

En primer lugar, hay que tener en cuenta el carácter *no renovable* de los sistemas e infraestructuras de captación y transformación de energía, en el sentido de que poner en funcionamiento dichos sistemas exige un importante consumo de recursos no renovables. Por ejemplo, un aerogenerador necesita grandes cantidades de acero, cobre, fibra de vidrio, caminos de acceso, líneas de conducción eléctrica... Así, resulta inviable seguir con crecimientos de consumo energético como los

actuales, aunque provengan de fuentes renovables.

Otro aspecto a tener en cuenta es el de la *vulnerabilidad* a una caída de la civilización industrial, ¿de qué nos sirve un sistema de energía renovable que no pueda sobrevivir al probable desmoronamiento de esta civilización, asociado a la crisis energética? Por ejemplo, una energía renovable con TRE claramente positiva, como la hidroeléctrica, puede que en un escenario así tenga problemas insalvables: ¿cómo se repararía y sustituirá entonces la turbina de una gran presa (son máquinas del tamaño de un edificio de varios pisos)?, ¿se podrán siquiera desmenuzar y cocer montañas para así fabricar el cemento con el que se construyen esas grandes presas?, ¿que ocurrirá con los aerogeneradores si se avería un sofisticado chip de control que se fabrica en Corea?

Y luego está la limitada *capacidad* de las diferentes fuentes renovables. La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880, de manera que se trata de una renovable ya madura. Nadie duda de su alta TRE positiva, y de hecho ha competido desde el principio con fortuna y *sin subvenciones* con las energías fósiles, pero si nos fijamos en la gráfica del último informe de la AIE (figura 7), solo aporta un 2,2% de la energía primaria mundial, cifra que probablemente esté cerca de su techo, después de más de un siglo y cuarto de uso con éxito. ¿Se acercarán las demás renovables al magnífico balance de la energía hidroeléctrica, saliendo del raquítico 0,4%, obtenido en la mayor parte de los casos con subvenciones?

Es claro, también, que las diferentes energías renovables tienen *impactos ambientales* notables. Hoy es fácil encontrar actividades empresariales y proyectos políticos, que con un discurso en contra del incremento del CO₂ y a favor del *desarrollo sostenible*, intentan que comulguemos con ruedas de molino en la forma de megaproyectos energéticos renovables.

¿A qué se debe esta reciente deriva del poder económico y político hacia las energías renovables? En 1981 Hubbert apuntaba: "es imposible que el sistema material-energético mantenga el crecimiento exponencial más allá de unos diez doblamientos [13], y esta fase ahora casi la tenemos encima. El sistema monetario no tiene ese problema y, según una de sus reglas más fundamentales, debe continuar creciendo por interés compuesto" [14].

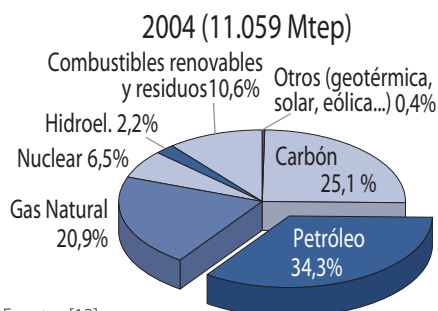
Y el problema está en que es el sistema monetario-financiero el que tiene el control —el poder—, y va a hacer todo lo posible por seguir creciendo. Pero para esta tarea hace falta energía, que "es la



1. La leña tiene una TRE de 20 a 30.
 2. Los aerogeneradores modernos tienen una TRE de las más altas de las renovables.
 3. Células fotovoltaicas.
 4. Sala de turbinas en una central hidroeléctrica.
- FOTOS 2 Y 3: ECOLOGISTAS EN ACCIÓN.



FIGURA 7: FUENTES MUNDIALES DE ENERGÍA PRIMARIA TOTAL



Fuente: [12]

capacidad de realizar un trabajo”, en una clásica definición de libro de texto. Pero ocurre que la energía fósil ya empieza a escasear. Entonces, el poder, al servicio del sistema financiero, necesita obtenerla de donde sea, por ejemplo de las fuentes renovables. Y nos encontramos con la paradoja de que instancias y estamentos que siempre habían ninguneado a las renovables, ahora, en plena cabalgada para obtener energía, arrollan incluso a ecologistas, que siempre habían abogado por ellas.

Pero hay una diferencia entre ambas querencias, al sistema monetario-financiero no le preocupan las consecuencias que puedan tener los impactos de las renovables (siempre que no limiten sus beneficios a corto plazo), a los ecologistas y a todos en general sí, y mucho. Si la civilización industrial se contrae o desmorona, dependeremos enteramente de la buena salud de los ecosistemas.

Por último, están los aspectos relacionados con la *equidad*. En nuestro mundo, con una distribución tan injusta de la riqueza, la consideración sobre si determinado desarrollo de renovables va a contribuir a aumentar las desigualdades, es algo que no podemos pasar por alto. Por ejemplo, ante la previsible colisión de los agrocombustibles con la seguridad alimentaria, llenar un depósito de 40 litros con biocombustibles equivale, en calorías, a la alimentación de una persona durante medio año. Si el asunto se reduce a quien más pague, lo más probable es que la *comida* sea para el coche.

Nos acercamos a una situación crítica

En pocos meses o años, al cambio climático se sumará el declive de producción petrolífera, que se hará notar de forma muy evidente, tanto que hasta nuestros políticos se darán cuenta de la catástrofe que se avecina. Una de las salidas naturales será la inversión irreflexiva en el aprovechamiento de energías renovables. Por la cuenta que nos trae deberemos

evitarlo, y para eso, ¿habremos avanzado algo en el conocimiento de la TRE de cada renovable?, ¿será este indicador el único relevante?, ¿se tendrá en cuenta la vulnerabilidad de los sistemas renovables a un colapso de la civilización industrial?, ¿se invertirá en tecnologías robustas, simples y compatibles con el mundo de baja energía en el que aterrizaremos?, ¿o malgastaremos nuestros recursos en tecnologías renovables que no funcionarán en el nuevo contexto?,

¿el desarrollo de las renovables se hará a costa de la salud ambiental del planeta?, ¿beneficiará a todos, o solo a una minoría privilegiada?

En ese contexto de escasez creciente de recursos y energía, se irá cerrando nuestro abanico de opciones. Tutelar el decrecimiento y tener criterio para acompañarlo con un desarrollo adecuado de las energías renovables, es un importante reto para el movimiento ecologista en los tiempos que se avecinan. ☁

Notas y referencias:

- 1 AEREN: Asociación para el estudio de los recursos energéticos. Federada de ASPO. Mantiene el sitio web www.crisisenenergetica.org
- 2 Los tres artículos se titulaban “*El fin del petróleo barato*”, y recogían las proyecciones de ASPO (Association for the Study of Peak Oil & Gas), inspiradas en la metodología de geofísico King Hubbert (ver F. Ballenilla: *El Ecologista* nº 40)
- 3 Por ejemplo, la Agencia Internacional de la Energía en un reciente informe (*Medium-term oil markets report*. julio 2007) ya advierte del grave problema que se les avecina a los países ricos. Sirva para resumir su contenido esta cita de *El País* (12-7-2007) sobre el informe: “La Agencia Internacional de la Energía (AIE) acaba de publicar su admonición: a partir de 2012, el mercado mundial de petróleo sufrirá una crisis aguda que se manifestará en forma de subidas de precios nunca conocidas con anterioridad. La causa es que el ritmo de aumento de la oferta de crudo es mucho más lento que el de la demanda. A partir de esa fecha, puede llegarse incluso a situaciones del mercado, probablemente esporádicas, en las que ni siquiera subidas explosivas de precios garanticen el suministro a los países consumidores”.
- 4 Las líneas azules y las estrellas indican máximos mensuales. <http://www.theoilboom.com/node/3001>
- 5 ASPO, Newsletter nº 82 – October 2007.
- 6 <http://www.elmundo.es/noticias/2000/graficos/julio/semana2/poblacion.swf>
- 7 Se suelen citar como alternativas para que todo siga igual a la energía nuclear y al carbón. Siendo realistas, en el caso de la energía nuclear, la única opción disponible son las centrales de fisión. De las de fusión ni existen prototipos comerciales. Las centrales convencionales de fisión consumen uranio, del que hay para cien años con el consumo actual. Vemos que en la actualidad (figura 7) la energía nuclear proporciona el 6,5% de la energía primaria mundial, y si tuviera que sustituir al petróleo y al gas, el uranio se agotaría en menos de 11 años. La energía nuclear no soluciona ningún problema energético, mientras crea un grave problema de residuos durante miles de años. Otro tanto pasa con el carbón. Según la wikipedia “Al ritmo actual de consumo se calcula que existen reservas seguras para 147 años”. Al carbón le corresponde el 25,1% del consumo actual, si con esas supuestas reservas se tuviese que cubrir el 80,3% (al faltar el petróleo y el gas) su duración sería de menos de 46 años.
- 8 Y esto suponiendo que no se incrementa el consumo energético (que no es así, crece exponencialmente) y sin contar con que, tanto el carbón como el uranio, están sujetos a un pico de producción similar al del petróleo, con la consiguiente bajada de su TRE y subida de su precio, que está siendo meteórica en el caso del uranio. Y dejando de lado los gravísimos problemas ambientales que se derivarían del uso masivo de uranio o carbón.
- 9 H. T. Odum et al.: *Environmental Systems and Public Policy*. University of Florida, 1988 <http://www.univcamp.br/fea/ortega/eco/esp/index.htm>
- 10 Prieto, P. (2005) *Adiós EROEI, bienvenida TRE*, en el foro de www.crisisenenergetica.org y Prieto, P. (2007) *La Tasa de Retorno Energético (TRE): un concepto tan importante como evasivo* en la sección de sostenibilidad del mismo sitio.
- 11 Elaboración propia a partir de datos de Hall y Cleveland, 1981; Cleveland et al., 1984; Hall et al., 1986; Hall y Cleveland, 2006: *EROI: The Key Variable in Assessing Alternative Energy Futures? (and EROI for global oil and gas 1992-2005)* (ponencia de la V conferencia de ASPO, Pisa, Italia, 19-7-2006, y las revisiones Richard y Watt 2004: *Use of the energy yield ratio as a means of dispelling one myth of photovoltaics*, Solar 2004: Life, the Universe and Renewables. Centre for Photovoltaic Engineering. University of New South Wales. Sydney, New South Wales 2052 AUSTRALIA; Knapp and Jester (2000); *PV Payback Home Power 80*, december 2000/january 2001; y Ballenilla, M. 2007: *Biocombustibles, mito o realidad*. (http://www.ua.es/personal/fernando.ballenilla/Apuntes/Biocombustibles:_Mito_o_realidad.html)
- 12 AIE: *Key World Energy Statistics, 2006*.
- 13 Con *doblamientos* Hubbert se refiere al periodo de tiempo en que una magnitud dobla su valor. Por ejemplo, China creció en el segundo trimestre de 2007 un 11,9%. Si ese crecimiento se mantiene (duplicaría su PIB en 5,8 años!), y con él, su demanda de recursos. Sobre el problema del crecimiento exponencial ver el vídeo *Aritmética población y energía* de A. A. Bartlett, traducido por Gabriel Tovar en <http://www.jlbarba.com/energia/arpoen>
- 14 K. Hubbert (1981) *Dos sistemas intelectuales: El material-energético y el monetario-financiero*, entrevistado en worldnet.att.net, 8-3-1988. <http://www.hubbertypeak.com/hubbertymonetary.htm>