

Por: **José Mª Martínez-Val**

*Catedrático de Termodinámica, ETSII-UPM  
Vocal de la Junta Directiva de la AIIM*

# La Energía en el horizonte

## INTRODUCCIÓN

En el campo de la Física se define sucintamente la Energía como la capacidad de producir un trabajo. Esta misma definición podría ser útil para el mundo socioeconómico en el que habitualmente nos movemos, pero en este mundo es más importante señalar que la Energía es un bien imprescindible para nuestra civilización, y para nuestro bienestar personal y colectivo.

Aunque el consumo energético per cápita, o por unidad de PIB, presente variaciones enormes de unos países a otros, con carácter general cabe decir que la actividad socioeconómica y las condiciones de vida dependen fuertemente del consumo energético. O más exactamente, de la satisfacción de las necesidades energéticas.

Esta satisfacción se consigue hoy día mediante las fuentes más sencillas de explotar y con los mecanismos más asequibles tecnológicamente hablando.

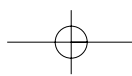
Nuestro entorno biológico es esencialmente molecular, y en él son fenómenos básicos la reducción de CO<sub>2</sub> (mediante la fotosíntesis) y la oxidación de los hidratos de carbono (mediante la respiración). Ello lleva (o ha llevado, a lo largo de eras geológicas) a la creación mineralógica de los combustibles fósiles, materias que son muy fáciles de explotar mediante el proceso de combustión.

De los 10.000 Mtep que al año, aproximadamente, consumimos artificialmente los seres humanos, más del 90 % pasa a través de la combustión, y más del 80 % usa combustibles fósiles. Lo cual comporta dos problemas:

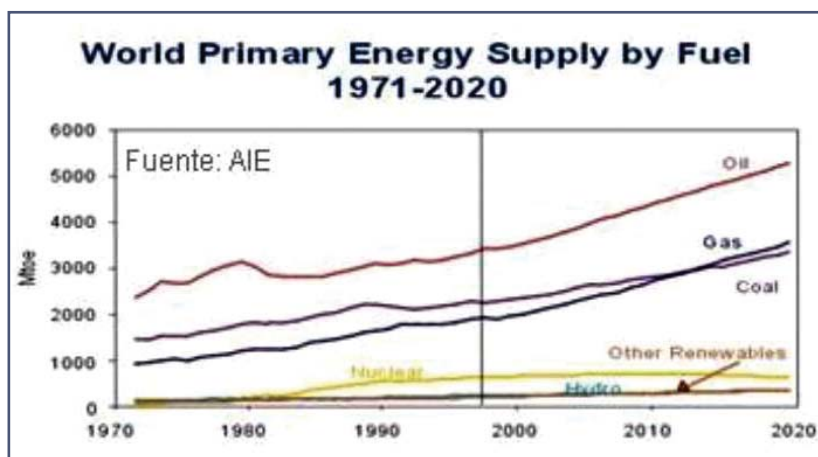
La amenaza de su escasez, no sólo de reservas, sino incluso de tasa de explotación de los yacimientos, y su fiabilidad geopolítica. La certidumbre de un incremento en el efecto invernadero troposférico por acumulación de CO<sub>2</sub>. Y la amenaza, subsiguiente a esa certidumbre, de estimular un cambio climático significativo con repercusiones nada claras para la idoneidad del clima para el medio ambiente humano.



Estas realidades hacen que a principios del siglo XXI esté plantado el tema energético con más crudeza que nunca, y ello lo prueban las predicciones de la Agencia Internacional de la Energía (cuadro 1). Y aunque hay una consciencia plena de que la reestructuración del sector energético llevará su tiempo, y requerirá inversiones cuantiosísimas, también existe la convicción de que hay que tender a esa reestructuración, en aras a un Desarrollo Energético Sostenible. ➡

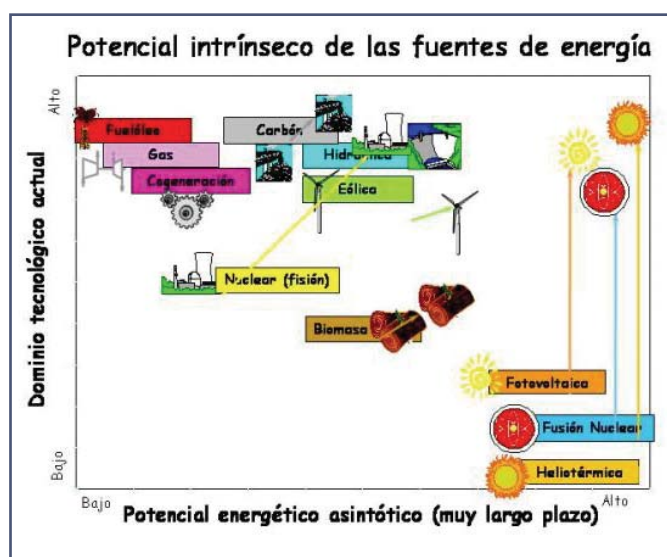


Cuadro 1



Para ello, contamos con un conocimiento del mundo físico a nuestro alrededor que nos permite efectuar una prognosis en la que se identifican un pequeño número de fuentes energéticas como verdaderamente relevantes a muy largo plazo, dado su potencial específico. Y en esa prognosis es preciso analizar someramente lo más característico del potencial de las fuentes renovables.

Cuadro 2



### LA FUENTE SOLAR

Al nivel de la biosfera, la potencia térmica de la radiación recibida del sol es de 120.000 TW en números redondos. Ello significa un factor 10.000 superior al consumo antropogénico, cifrable en 13 TW. Ello significa que en monto total hay un enorme margen de crecimiento de nuestro consumo, simplemente aprovechando la energía solar. Pero ello comporta un problema termodinámico elemental: la temperatura asociada a la radiación recibida es muy baja para su explotación directa. Más aún, en valor medio esa temperatura sería a la vez la del foco caliente y la del foco frío, por lo cual su potencial según Carnot sería nulo. Para explotar la energía solar no hay más remedio que recolectarla de una manera inteligente,

logrando un foco con temperatura superior, o muy superior, a la del medio ambiente. Otra alternativa es convertir los fotones directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, la cual se aborda en la entrevista al profesor Luque. Paralelamente, existe una entrevista al director de la Plataforma Solar de Almería, que pone en perspectiva las posibilidades tecnológicas de la explotación comercial de la energía solar térmica.

En cualquier caso, la fuente solar es considerablemente grande, y conviene adecuar los medios de I+D para hacer verdad la enorme esperanza que esta fuente suscita. Para rematar este apartado, tén-gase en cuenta que los 120.000 TW anteriormente mencionados equivalen en un año a  $9 \times 10^{23}$  calorías, lo que significa un valor de  $9 \times 10^{12}$  tep/año, es decir, unas 10.000 veces el consumo anual total de la humanidad hoy día.

Si esta enorme cantidad de energía la distribuimos en toda la superficie de la Tierra, equivale a una "lluvia de petróleo" anual de casi 20 cm en toda la faz de la Tierra. Pero esa "lluvia" estaría muy mal repartida, pues sería mucho mayor en las zonas ecuatoriales y tropicales que en altas latitudes.

Más aún, para un aprovechamiento térmico eficiente de la energía solar, hace falta concentrarla, y ello sólo puede hacerse con la energía solar directa. Más aún, los mejores rendimientos económicos se obtendrían, lógicamente, en las zonas con la más alta insolación, y ello nos lleva a las ➡



LOS MEJORES RENDIMIENTOS ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA SOLAR SE OBTENDRÍAN, LÓGICAMENTE, EN LAS ZONAS CON LA MÁS ALTA INSOLACIÓN, Y ELLO NOS LLEVA A LAS EXTENSAS ZONAS DESÉRTICAS, QUE ES DONDE VERDADERAMENTE SE CONCENTRA EL POTENCIAL SOLAR DEL PLANETA.

extensas zonas desérticas, que es donde verdaderamente se concentra el potencial solar del planeta.

De ese tipo de territorios encontramos unos 10 millones de km<sup>2</sup>, que representan una captación solar con una potencia bruta media de 2.500 TW. Si se pudiera aprovechar el 20 % de ella, serían 500 TW, que es casi cuarenta veces la potencia media total demandada actualmente por la Humanidad. Ello pone en evidencia la enorme importancia de esta fuente de energía a largo plazo. Pero para aprovechar tan vastos recursos, hará falta un desarrollo tecnológico notabilísimo, que ha de empezar por países que necesitan energía autóctona con preponderancia, como es nuestro caso.

#### LA REALIDAD HIDRÁULICA

Las energías potencial y cinética del agua se han aprovechado desde hace tiempo, básicamente desde que a finales del XIX se alcanzara la madurez tecnológica inicial de la corriente alterna,

merced a ingenios tan preclaros como los de Gaulard y Tesla.

En España se cuenta con algo más de 16 GWe instalados de hidroelectricidad, cuya producción depende mucho de la pluviometría del año, con una producción anual que en media puede acercarse a 30 TWh. A poco más de ese nivel, salvo modificaciones meteorológicas radicales, se puede aspirar en un plazo indefinidamente largo, como los que aquí tenemos que contemplar.

En España, el potencial hidráulico ya aprovechado es cercano al 50% del inventariado. Para el global de la OCDE, esta cifra sube a 70%. En el caso de Rusia y China, está alrededor del 10%. Para los países menos favorecidos (como los de África) es del 3%.

El potencial total anual se estima en unos 8.000 TWh,

de los que unos 5.000 se encuentran en países en vías de desarrollo, 1.800 en Rusia y China y 1.300 en países de la OCDE. La producción eléctrica actual anual es de 2.600 TWh, con una potencia total instalada algo superior a 700 GW, siendo Estados Unidos y Canadá los dos países más sobresalientes en este campo, con 100 y 70 GW de potencia hidroeléctrica respectivamente.

El problema de la energía hidráulica, tal como se está poniendo en evidencia en las

obras públicas chinas por ejemplo, es el enorme impacto en cauces y caudales. Habida cuenta que el agua va a ser para gran parte de la humanidad un problema aún mayor que el de la energía, la explotación de la hidráulica puede plantear en muchos casos conflictos de interés local. Como ciclo de negocio, en el mundo más desarrollado está realmente saturado. Lo que queda hacer en otros países, depende a su vez de inversiones cuantiosísimas, por las grandes obras públicas que comporta.

### EL CICLO DE NEGOCIO EÓLICO

Por el contrario, el ciclo de negocio de la eólica no ha hecho sino empezar, y ni siquiera en los países más señalados, como Alemania, Dinamarca o España, se ha alcanzado el máximo en su velocidad de despliegue, que en España supera ya 1 GWe/año.

Resulta complicado hablar del potencial eólico del planeta, por la carencia de datos sistematizados en la meteorología, pero sí se tiene cierta idea del orden de magnitud en nuestro país. Para el año 2010 la potencia instalada alcanzará los 15 GWe, y la producción anual los 30 TWh/año, lo cual será algo menos del 10 % del consumo medido en alta tensión. Se llegaría así a un nivel similar al de la energía hidráulica en año medio.

Con los datos conocidos de potencialidad eólica, su producción podría alcanzar 50 TWh antes de 2030. Para un plazo indefinido, sería difícil añadir cifras significativas a lo anterior, aunque el total podría cifrarse entre 70 y 100 TWh, lo cual es una contribución muy apreciable.

### EL ÁMBITO DE LA BIOMASA

Para su subsistencia biológica, la humanidad consume actualmente algo menos de 1 TW de potencia, que procede de la biomasa. Paralelamente a ello, algo más de 1 TW de biomasa se consume para aplicaciones energéticas no biológicas, sobre todo leña, en los países menos desarrollados. Esta leña está asociada a los cultivos y

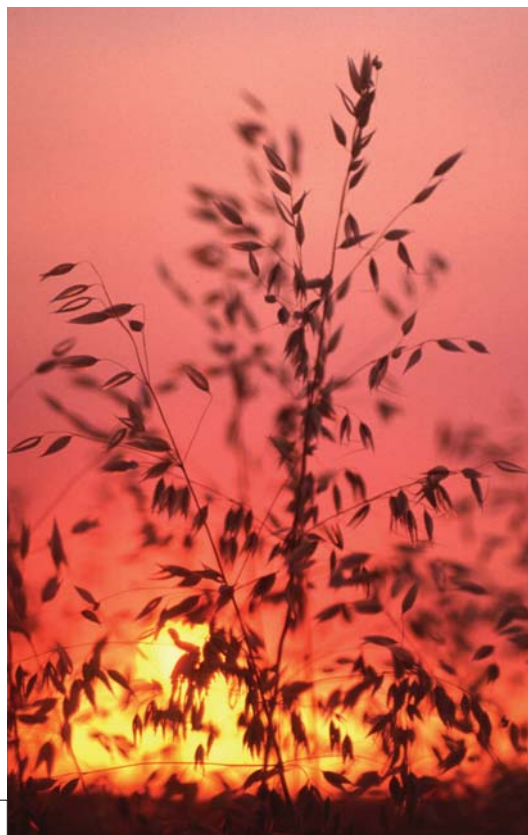
explotaciones forestales convencionales, y son muchos los especialistas que opinan que ha de instaurarse una nueva ingeniería, la Agroenergética, para explotar la biomasa eficientemente con dicho fin. Ello requerirá el despliegue de nuevos cultivos, la optimización en el uso de agua y nutrientes, y la puesta en marcha de nuevas técnicas logísticas de acarreo y comercialización de la materia prima.

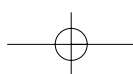
Para evaluar su potencial, téngase en cuenta que el ritmo actual de reciclado de C en la biomasa, por medio de la fotosíntesis, es de unos 100 Gton/año, que



vuelven a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, de manera inmediata en sus 2/3 partes aproximadamente. El otro tercio sería aprovechable no sólo para la alimentación, sino para la agroenergética. De desplegarse ésta, el ciclo aprovechable podría ser entre 45 y 50 Gton/año, de C, lo cual representaría entre 33 y 35 Gtep/año, de energía bruta. De poderse extraer el 20 % de ello para usos energéticos, se estaría entre 6 y 7 Gtep/año, que es aproximadamente entre 6 y 7 veces el consumo actual de biomasa, y representa entre el 60 y 70 % del consumo energético primario mundial de hoy día.

Hay especialistas mucho más optimistas, que elevan a más del doble la energía que se puede obtener de la biomasa, y hay quién llega a plantear un futuro sostenible sólo basado en ella. De momento, la tecnología y la logística hacen que su penetración crezca moderadamente, pero con grandes expectativas, como se ve en la evaluación hecha por el Instituto de Análisis de Sistema de Viena (cuadro 3, [www.iiasa.ac.at](http://www.iiasa.ac.at)). ♦



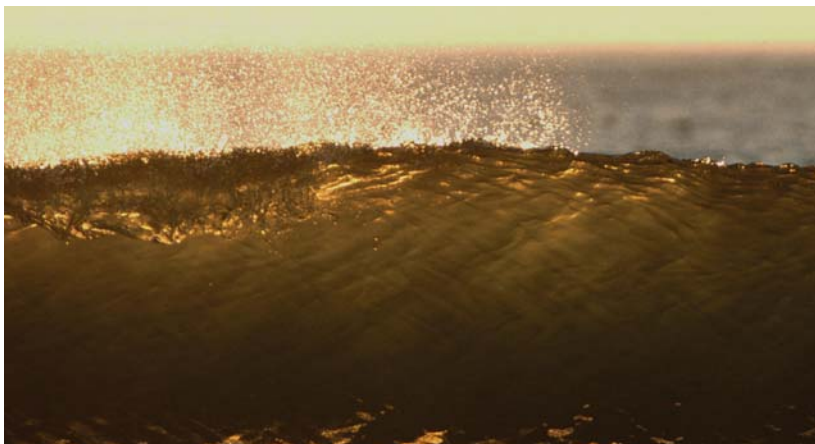


Cuadro 3



### OTRAS RENOVABLES

Las energías marinas (tanto térmicas como cinéticas) la geotérmica, la mareomotriz y otras, presentan posibilidades interesantes de explotación en algunas localizaciones señaladas, pero en el contexto global es poco lo que pueden aportar. Por tanto, su contribución en el largo plazo al desarrollo energético sostenible sería muy marginal (Martínez-Val, 2003).



### ACERCARSE AL HORIZONTE

Las energías solares, directas o indirectas, presentan un potencial energético de crecimiento realmente inmenso, pero varias de ellas (las que más potencial tienen, como son la fotovoltaica y la heliotérmica) están muy lejos aún de haber iniciado su ciclo de negocio (y de ahí que sean las que más subvenciones reciben).

Para hacer posible dicho ciclo, y por tanto un despliegue masivo de ellas, es preciso un desarrollo tecnológico ad hoc, poniéndose énfasis en la innovación y en la búsqueda de sinergias científicas, como son las que pueden aportar los nuevos materiales o la nanotecnología.

A ello se aprestan todos los países avanzados, muy particularmente la Unión Europea, y con cierta modestia el nuestro; que ya hizo un esfuerzo considerable en la Hidroeléctrica, y no menor lo está haciendo en la Eólica. Toca el turno ahora a la Biomasa (aunque en España resulta crítica la carencia de agua) y las solares directas, que en nuestro país sí disponen de localizaciones apropiadas, y un potencial energético muy apreciable. De su desarrollo dependerá la reconfiguración de nuestro sector energético hacia una estructura de mayor sostenibilidad. ❖

### BIBLIOGRAFÍA

- Brundtland, G. et al., "Our common future", Cambridge University Press (1987)
- Fundación Cotec, "Tecnologías para la innovación en la generación de energía eléctrica", Coordinador: J.M. Martínez-Val (2003)
- Martínez-Val, J.M. y otros, "Principios físicos del desarrollo energético sostenible", Fundación Iberdrola (2003)
- Martínez-Val, J.M. y otros, "Agua y desarrollo sostenible", Fundación Iberdrola (2004)

### WEBGRAFÍA

- [www.ciemat.es](http://www.ciemat.es)
- [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)
- [www.enerclub.es](http://www.enerclub.es)
- [www.energiasostenible.net](http://www.energiasostenible.net)
- [www.energy.gov](http://www.energy.gov)
- [www.eren.doe.gov](http://www.eren.doe.gov)
- [www.idae.es](http://www.idae.es)
- [www.iea.org](http://www.iea.org)
- [www.iiasa.ac.at](http://www.iiasa.ac.at)
- [www.solarenergy.es](http://www.solarenergy.es)
- [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)

