

La energía en la tierra

Mireia Piera

Manuel Perlado

José María Martínez-Val

El conocimiento de la realidad socioeconómica actual es considerablemente riguroso y fiable, por el acopio ordenado de datos estadísticos, y ello nos hace saber que en la actualidad el sector energético antropogénico moviliza al año (en producción y consumo, naturalmente) unos 8750 Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo), lo que supone $8,75 \times 10^{13}$ termias, o $3,7 \times 10^{20}$ J. De ello, prácticamente el 90% procede de combustibles fósiles, algo menos de un 7% de energía nuclear, y algo más de un 3% de energías renovables, mayoritariamente hidráulica, con una pequeña aportación, por ahora, de la eólica.

A las cifras anteriores habría que añadir unos 1000 Mtep de biomasa de todo tipo, que no es estrictamente antropogénica, aunque el hombre la use, pues está directamente generada por el sol, y forma parte del ciclo biológico de la Tierra. Esta biomasa es básicamente leña y asimilados, y en muchos países en desarrollo constituye un factor fundamental de suministro energético. Si no se produjera una merma sensible del volumen de masa vegetal sobre la tierra (y algo parecido habría que decir del contenido biológico del mar) el aprovechamiento de la biomasa no tendría ninguna repercusión en la sostenibilidad. Tal es el caso de la biomasa agroalimentaria, que es algo superior a los 500 Mtep/año, pues no se aprecia merma en estos cultivos, sino al contrario, resultan incluso excedentarios para la alimentación que la humanidad puede consumir (a través de los canales comerciales al uso; la gran tragedia humana que a nivel local o regional viven ciertas partes del globo como consecuencia de hambrunas endémicas, es problema de índole muy compleja y diferente de lo aquí tratado). Por el contrario, la reducción de la masa vegetal por deforestación (por lo general, no para usos energéticos) sí puede ser tema específico del Desarrollo Sostenible pero, como se acaba de decir, no de su vertiente energética, sino por otros fines de otros sectores, que también tendrían que valorar su sostenibilidad.

Según los datos anteriores, la potencia media de la producción antropogénica de energía es de 11,5 TW (1 TW = 10^{12} W) lo que casi equivale a 2 kW por persona. Como referencia natural habría que tener en cuenta que la ingestión de alimentos representa 140 W/persona para una aportación de 3000 kcal/día, lo cual está ligeramente por encima de la media mundial de alimentación. Ello quiere decir que la energía artificial es unas 15 veces mayor que la natural necesitada por el ser humano para su correcta alimentación.

Bien es sabido que en ambos conceptos, el consumo natural y el artificial, se dan enormes diferencias de unos países a otros. Aquí se han enunciado las cifras anteriores con el objeto de que sirvan de referencia a nuestros planteamientos, pues sin referencias concretas, los argumentos técnicos no son siempre de fácil comprensión.

Unos datos adicionales de carácter histórico pueden servirnos para terminar de encuadrar el

tema de las referencias numéricas. Actualmente, por lo ya dicho, el consumo de energía artificial es de casi 1,5 Mtep por persona y año. Hacia 1965 dicha cifra era de 1 Mtep, y en aquel momento la población era algo inferior a 3.200 millones de personas, y esa misma cifra era aproximadamente la de Mtep.

La cifra anterior de 11,5 TW se debe comparar con los valores de los componentes naturales del balance energético terrestre, que son esencialmente tres: la irradiación solar, la energía geogénica y la mareomotriz. Esta última se estima en 3,5 TW, y está lógicamente dispersada por el mar, fundamentalmente en estuarios de características peculiares.

Por otra parte, en el interior de nuestro planeta existen temperaturas muy elevadas que alcanzan los 7000 K en el núcleo central, para decaer hacia los 300 K en la superficie. El origen de este fenómeno es doble: por un lado, la acción de la gravedad, y por otro, la desintegración de los nucleidos radiactivos naturales. La compresión gravitacional fue decisiva precisamente durante la formación (condensación) de nuestro planeta, hace 4500 millones de años. Desde entonces, la tierra se ha ido enfriando lentamente, aunque el trabajo gravitatorio que aún realiza se disipa casi exclusivamente mediante el calor, con ligeras aportaciones mecánico-tectónicas, elásticas y eruptivas. En cuanto a los radionucleidos, su presencia fue muchísimo más abundante en tiempos pasados, dado que hoy en día solo permanecen residuos de los de vida muy larga. Probablemente la mayor parte de la radiactividad, contenida en la masa terrestre en condensación, se manifestó en los primeros milenios tras su creación a resultas de la explosión de una supernova.

Como consecuencia de los procesos citados, el 90% de la superficie continental manifiesta un flujo calorífico de 50 mW/m². Esto corresponde a un gradiente térmico menor de 3 0C cada 100 metros de profundidad, lo que significa la práctica imposibilidad de aprovechar tal energía.

La cantidad total de calor fluyendo hacia la corteza terrestre es enorme, cifrada en uno 1021 J/año lo que representa una potencia de unos 30 TW, pero es inefectiva dada su baja densidad por unidad de superficie. El atractivo auténtico de la energía geotérmica radica en la existencia de zonas anómalas en las que se dan circunstancias favorables de temperatura, gradiente térmico y flujo calorífico, relegando a ciencia-ficción las ideas de penetrar, hasta el manto convectivo terrestre, con dos “macropozos” que sirvan para inyectar agua fría y extraer vapor saturado. En definitiva, puede concluirse que esta energía no es particularmente relevante a nivel de sostenibilidad.

Al contrario que la irradiación solar, que es sin lugar a dudas quién domina el equilibrio termofísico del planeta. El sol radia energía electromagnética con un espectro característico de cuerpo negro a unos 5780 K (grados Kelvin). El concepto de cuerpo negro no está asociado al color del sol, que nosotros vemos anaranjado por ser esa longitud de onda la de dominancia cromática en nuestros ojos (salvo en los crepúsculos, que tiende a rojizo, por interacción con nuestra atmósfera en mayores espesores y más oblicuo ángulo de incidencia).

No obstante, al sol en su brillo total no se le puede mirar, pues puede producir ceguera, por su muy alta intensidad. A nivel del mar, con atmósfera clara, la irradiación solar alcanza 1000 W/m² aproximadamente (en superficie perpendicular a la visual al sol; si no es perpendicular

se ha de multiplicar por el seno del ángulo de incidencia, o por el coseno del complementario, llamado coaltura).

La irradiación que llega a la parte exterior de nuestra atmósfera es bastante superior a la cifra antedicha, y en valor medio es de 1.352 W/m^2 de orientación normal al sol. Esta cifra fluctúa según las variaciones astronómicas de la distancia entre Tierra y Sol, y así mismo según la actividad solar. Aunque su intensidad debería ser prácticamente constante si nos atuviéramos a los ciclos principales de reacciones nucleares de fusión, lo cierto es que en su superficie se aprecian, con los debidos instrumentos, variaciones importantes de manchas y protuberancias, así como cambios de carácter temporal, habiéndose detectado un cuasiciclo de variación de actividad de unos 11 años de periodo.

Teniendo en cuenta las cifras antedichas y el radio de la atmósfera terrestre, la cantidad total de energía llegada a ella anualmente es de unos $5,5 \times 10^{24} \text{ J}$, lo que equivale a $1,75 \times 10^5 \text{ TW}$ de potencia media, esto es, unas 15.000 veces la actual energía antropogénica. Hay que precisar, no obstante, que la interacción de esa radiación con la atmósfera es muy compleja, con fenómenos notorios como es la absorción de gran parte de la radiación ultravioleta en la ozonfera. Aún de mayor significación energética son la dispersión y absorción de luz por los diversos constituyentes atmosféricos, donde el vapor de agua y las nubes juegan un papel fundamental. Podemos señalar que casi un 30% de la radiación incidente es retrodispersada con longitudes de onda no muy diferentes de las originales incidentes, y por tanto relativamente cortas. Esto ocurre sobre todo en las capas altas atmosféricas y en las zonas circumpolares, por su ángulo de incidencia, más oblicuo.

Por el contrario, tras un largo conjunto de interacciones de los fotones con la atmósfera y la superficie terrestre y marina, más de un 70% de la radiación es reemitida como longitud de onda mucho más larga y con una densidad media de potencia de alrededor de 250 W/m^2 . Esos fotones penetran prácticamente hasta dentro del suelo o del mar, y como resultado se isoterma-lizan con el medio circundante (la atmósfera baja, las nubes, los océanos, los continentes, que en definitiva constituyen la biosfera). De ahí que el espectro de luz así emitida sea mucho menos energético (ondas más largas) y en vez de corresponder a 5780 K de temperatura, propios de la luz solar original, sea tan solo de 288 K , que es la característica media de la Tierra ($15 \text{ }^\circ\text{C}$).

Ese conjunto complejo de interacciones de los fotones solarse con la biosfera son la raíz de cuestiones tan importantes como el clima y la propia vida (que no absorbe sino una minúscula fracción de la energía recibida, del orden de las 10 millonésimas). Como último dato cabría consignar que en valor medio la energía transferida entre la superficie del planeta y la atmósfera (siempre en ida y vuelta) es del orden de la mitad de la radiación solar original, y por tanto algo inferior a 700 W/m^2 (en superficie normal al sol). Si esto se pasa a valor medio por m^2 de la superficie terrestre se reduce en un factor 4, dando 175 W/m^2 como referencia del flujo energético medio a nuestro nivel. Ahora bien, como muchas medias estadísticas, es poco representativa, pues en la mayor parte de la península Ibérica, en verano dicho valor será muy superior a 250 W/m^2 . Y en caso de considerar una superficie orientada normalmente al sol, superará los 1100 W/m^2 cuando hay insolación (por descontado, este valor será nulo durante la noche, en cuanto a insolación directa, pero no en cuanto a emisión radiante de la Tierra que estará devolviendo calor al universo con tasas de flujo superiores a 300 W/m^2).

Bajo estas cifras que intentamos fijar como representativas y de referencia, habita una complejísima física que da origen al clima y a los ciclos vitales, particularmente del H₂O y del CO₂.

Recopilando los datos energéticos para terminar de cerrar el cuadro, encontramos lo siguiente:

Energía antropogénica (año 2000) 8.750 Mtep/año \sim 3,65x10²⁰ J/año (\sim 11,5 TW)

Energía del equilibrio termofísico (de la irradiación solar, fundamentalmente) a nivel de la biosfera = 3,5x10²⁴ J/año (\sim 105 TW)

Energía absorbida y reciclada a través de la biomasa: 1000 Mtep/año \sim 4,2x10¹⁹ J/año (\sim 1,31 TW)

Estos tres conjuntos de datos describen macroscópicamente la situación. Nuestro objetivo es ahora analizar de qué mecanismos disponemos para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad.