

LA ENERGIA Y LA ATMOSFERA

Por Isidoro MARTINEZ HERRANZ
Dr. Ingeniero Aeronáutico

Este artículo está concebido como introducción al tema de la energía eólica, mostrando su origen como un subproducto del equilibrio dinámico atmosférico debido al acoplamiento del calentamiento solar, la fuerza de la gravedad y la dilatación del aire.

1. LA ENERGIA

La energía está en la Naturaleza y es utilizada por el hombre para alimentarse, ver, calentarse, desplazarse y transformar el mundo que le rodea.

Pero no siempre se dispone del tipo de energía deseado en el lugar e instante en que se necesita, por lo que aparece la consabida cadena de los bienes de uso y consumo: producción, almacenamiento, distribución y consumo.

Resulta además, que la técnica actual permite manejar con mayor facilidad unos tipos de energía que otros, y así es más sencillo hoy día construir una central nuclear, sacar el uranio de la tierra, enriquecerlo, generar energía térmica, convertirla en energía eléctrica, transportarla a cientos de kilómetros y distribuirla a las casas para el consumo doméstico, que utilizar la energía solar que, salvo en aglomeraciones desmesuradas como la ciudad de Nueva York, resultaría suficiente.

1.1. Producción

La energía se «produce» a partir de sus fuentes naturales (energía primaria), que pueden ser de dos tipos: fuentes de energía almacenada (fósil, nuclear, geotérmica) y fuentes de energía en tránsito (solar, hidrológica, eólica, mareomotriz).

La energía almacenada presenta aspectos ventajosos en su utilización: ya está almacenada y puede transportarse directamente y distribuirse al consumidor (carbón, petroleros, bombonas de butano, tabletas de uranio, redes de agua caliente natural en Islandia y Nueva Zelanda, etcétera). Algunos de sus inconvenientes, como su extracción, concentración, transporte, etc., han sido resueltos satisfactoriamente por la técnica: minería, oleoductos, enriquecimiento de uranio... El problema que es irresoluble es el de su agotamiento, es decir, al ser energía almacenada, llega un momento en que se acaba o queda tan empobrecida que su extracción deja de ser rentable. Para el petróleo parece que ya ha llegado la hora.

La energía en tránsito es un constante flujo que circula, se utilice o no; es decir, no se almacena. Algunos de estos tipos de energía son muy periódicos (mareas); en otros, a esta inherente periodicidad se superponen efectos incontrolados (nubes y energía solar); otros son de carácter muy variable (lluvias), aunque fácilmente controlables (presas); finalmente, la energía eólica es sin duda la fuente primaria más caprichosa que existe.

En cualquier caso, la utilización directa de las fuentes primarias de energía no es siempre factible, la mayor parte de las veces por desconocimiento de la tecnología requerida; ésta puede ser una explicación de por qué para aprovechar ciertas energías es preciso en primer lugar convertirlas en energía térmica y luego utilizar máquinas térmicas convencionales para extraer todo el trabajo posible, que no es mucho.

1.2. Almacenamiento

La energía se almacena para poder satisfacer la demanda cuando ésta aparezca. Aparte de cuestiones de seguridad y logística, la densidad de almacenamiento suele ser una variable de importancia; por ejemplo, la

incidencia en el transporte y distribución es obvia, siendo esa una de las desventajas que retrasan actualmente la utilización de hidrógeno como combustible.

El almacén de energía suele tener fugas o pérdidas, por lo que la influencia del tiempo característico de almacenaje es crucial para la elección entre posibles alternativas; esto es particularmente importante en el almacenaje térmico, como ocurre cuando se trata de calentar la casa por la noche con el agua que ha calentado el sol durante el día.

Otro fin del almacenamiento es el de servir de amortiguador, acomodando una producción más o menos uniforme a una demanda fluctuante (o viceversa).

1.3. Distribución

La energía se distribuye desde los centros de producción o almacenamiento a los centros de consumo donde es requerida.

La distribución en sí sólo presenta pérdidas, por lo que siempre conviene minimizar esta fase, situando los centros de producción lo más cerca posible de los centros de consumo, cuestiones de seguridad aparte.

Por sus peculiares características de facilidad y comodidad de distribución es necesario citar aquí la energía eléctrica. La energía eléctrica no se considera como energía primaria porque todavía se carece de la tecnología necesaria para su extracción de la Naturaleza, y eso que existe en grandes cantidades, a juzgar por los rayos y truenos; sin embargo, se viene utilizando desde fines del siglo XIX como energía secundaria, siendo ideal para la distribución a pequeños consumidores por su facilidad de control y su no contaminación.

1.4. Consumo

El hombre utiliza la energía en forma de calor y en forma de trabajo. Pese a que utiliza la energía para calentar muchas cosas (la casa, el agua, la comida, en la industria), suele considerarse la producción de trabajo como el fin más sublime de la utilización de la energía y hablar así de rendimientos de la conversión: trabajo útil/energía puesta en juego. Estas cifras son poco significativas para el consumidor, cuyo único rendimiento real está medido por la relación energía útil/precio bruto.

Actualmente se concede gran importancia también a los efectos secundarios de la utilización de la energía, como riesgos y contaminación. En un futuro próximo se esperan cambios sustanciales en la utilización de la energía, sobre todo en las etapas de almacenamiento y distribución; por ejemplo, con el desarrollo de las pilas de combustible y la proliferación en el uso de las energías complementarias¹.

2. LA ATMOSFERA

La atmósfera es una delgada cáscara de fluido compresible en rotación. La densidad del aire decrece exponencialmente, y en los primeros 17 kilómetros de altura ya está contenida el 90 por 100 de su masa. El espesor relativo de esta delgada capa esférica (espesor/radio) es menor del 1 por 100.

En principio, tras unos $4,5 \cdot 10^9$ años de dar vueltas a la Tierra sobre sí misma a una velocidad más o menos constante de una vuelta por día, podría pensarse que la

atmósfera estaría moviéndose solidariamente con la Tierra; pero no es así, debido a que sufre un continuo bombeo térmico, convección natural, por el efecto conjunto de la gravedad y la dilatación que produce el calentamiento solar.

3. BALANCE ENERGETICO DE LA ATMOSFERA

La atmósfera puede considerarse como un gran sistema termodinámico en continua evolución, intercambiando masa y energía con los océanos, los continentes y el espacio exterior.

El balance másico puede parecer insignificante, ya que se trata de partículas de polvo, agua, oxígeno, dióxido de carbono y contaminantes, y de partículas de alta energía y micrometeoritos que intercambia con el medio interestelar; en total, cantidades pequeñísimas comparadas con la masa de la atmósfera. La composición de la atmósfera es extraordinariamente constante: 78 por 100 de partículas de nitrógeno, 21 por 100 de oxígeno, 0,9 por 100 de argón, y el resto, otros gases nobles, vapor de agua y contaminantes. Sin embargo, la presencia de estos elementos adicionales ejerce un decisivo control sobre el balance térmico, debido a su conocido efecto de invernadero, amén de los conocidos efectos ecológicos.

El balance energético de la atmósfera es muy complejo por la cantidad de fenómenos que tienen lugar y la gran variedad de órdenes de magnitud. Considerando globalmente el sistema Tierra-atmósfera y suponiendo que se encuentra en régimen estacionario [es decir, despreciando la variación de su energía interna (1)], podemos concluir que la energía que recibe, principalmente radiación solar, es igual a la que devuelve al espacio: un 30 por 100 de radiación directamente reflejada en la longitud de

(1) Aunque de momento insignificante, parece que la temperatura de la Tierra está aumentando ligeramente, e incluso se especula que el derroche energético de la sociedad actual puede ocasionar un calentamiento excesivo².

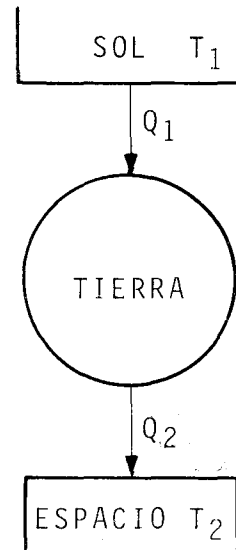
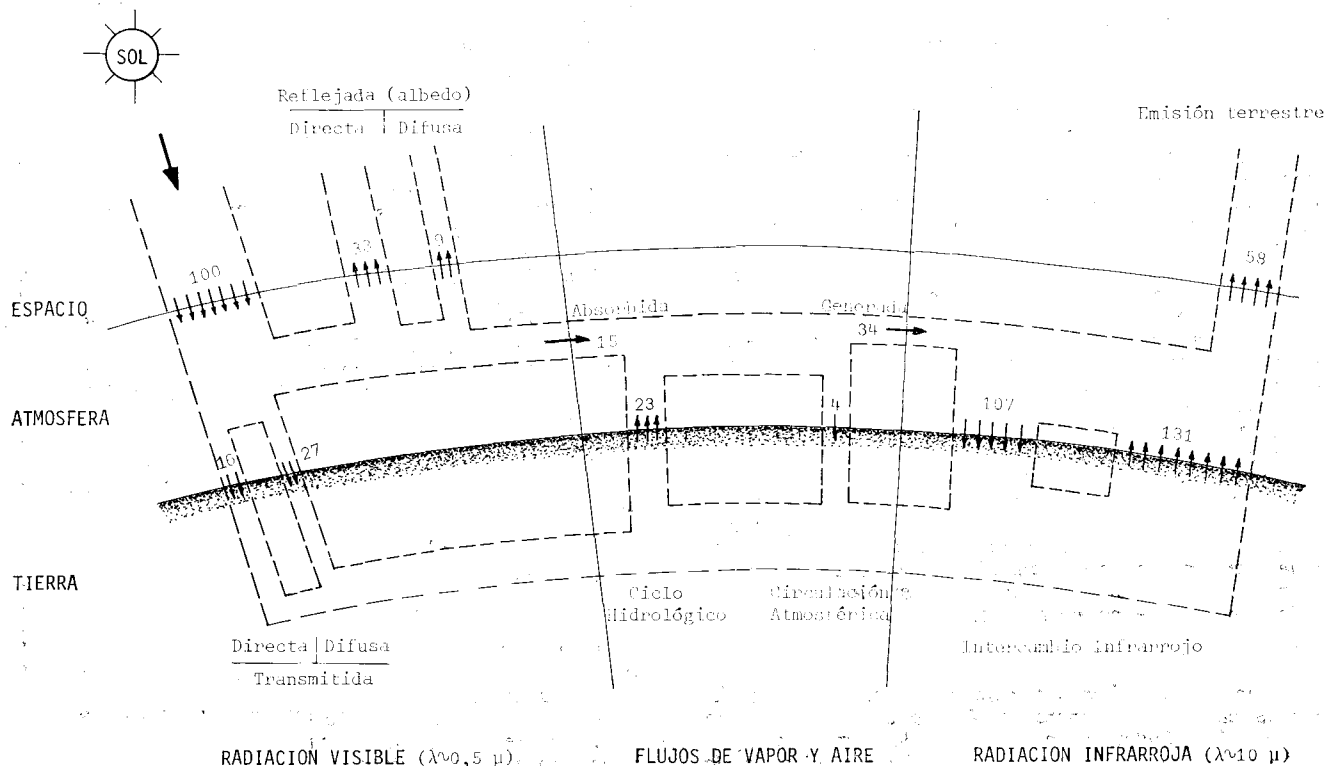


Fig. 1.—La Tierra como sistema termodinámico intercambiando energía con el Sol ($T_1 \sim 6200 \text{ K}$, $Q_1 \sim 2 \cdot 10^{17} \text{ W}$) y el Espacio ($T_2 \sim 4 \text{ K}$, $Q_2 = Q_1$).

onda que se recibe (visible) y el resto en forma de radiación propia emitida en la banda de infrarrojos. Como consecuencia de este intercambio, la Tierra se mantiene a una temperatura media superficial de unos 300 K. Así, pues, se trata de un sistema termodinámico en presencia de dos fuentes térmicas, una a alta temperatura, el Sol, y otra a baja temperatura, el medio interestelar, tal como se representa en la fig. 1.

Fig. 2.—Balance energético de la atmósfera terrestre. La energía total recibida del Sol se representa por 100 unidades



El papel que juega la atmósfera en este balance energético es preponderante. Por una parte sirve de control del espectro de absorción-emisión, determinando así la temperatura de equilibrio de la Tierra. Además, actúa de elemento homogeneizador, transportando energía desde las regiones donde se absorbe hasta las regiones más frías del planeta. Puede dar una idea del efecto suavizante de los cambios de temperatura el hecho de que en la Tierra la diferencia entre el día y la noche es de unos 15°C, mientras que en la Luna, por ejemplo, desprovista ésta de atmósfera, esta diferencia es de unos 200°C. La atmósfera es así el gran acondicionador terrestre.

La interacción Tierra-atmósfera es mucho más difícil de describir, debido en gran parte al acoplamiento atmósfera-oceano; en la fig. 2 se ha tratado de dar una visión de conjunto de los intercambios energéticos más importantes³. Los diferentes procesos energéticos se encuentran armoniosamente conjugados: la atmósfera deja pasar la radiación visible para provecho de la biosfera (visión, función clorofílica, calentamiento) y evita que penetren radiaciones de alta energía (rayos X, radiación cósmica) que dañarían los organismos vivos. Por otra parte, de no existir la atmósfera, la Tierra se calentaría demasiado por el Ecuador y muy poco por los Polos, como ya se ha indicado; la atmósfera actúa en este sentido como una máquina térmica, tomando energía de una fuente caliente (por contacto con los océanos y el suelo), cediendo parte de ella a una fuente fría (esta vez por contacto con las zonas polares) y generando una cierta energía mecánica: la energía eólica. La energía mecánica que aparece da origen a la circulación general de la atmósfera (vientos) y acaba disipándose por fricción; la energía interna que transportan estas corrientes desde las bajas a las altas latitudes hace posible la vida en una mayor extensión del globo, aparte del beneficioso efecto adicional de dilución y dispersión de contaminantes que hace posible la vida en gigantescas aglomeraciones urbanas.

El ciclo hidrológico también presenta peculiaridades dignas de mención. La energía solar calienta el agua, la evapora, y eleva el vapor a distancia considerables, donde se enfría y condensa formando las nubes. Esta cobertura nubosa actúa de invernadero, evitando el excesivo enfriamiento de la superficie terrestre. La circulación general de la atmósfera interacciona con el ciclo hidrológico y ocasiona las precipitaciones que directa o indirectamente (lluvia, manantiales, ríos) hacen posible la vida en la Tierra.

4. CIRCULACION GENERAL ATMOSFERICA

Los movimientos del aire son muy complejos, pero a gran escala existen corrientes dominantes, lo que se llama circulación general de la atmósfera, independientes de la orografía y peculiaridades locales, y que vienen determinadas por la rotación terrestre y las condiciones de contorno térmicas. Así, por ser la atmósfera una capa delgada, las velocidades verticales que puedan desarrollarse serán, en general, muchísimo menores que las horizontales. Por otra parte, por ser las dimensiones del orden de muchos kilómetros y la viscosidad del aire tan pequeña, el movimiento es inercial, lo que, junto con la rotación de la tierra, obliga a un movimiento geostrofico

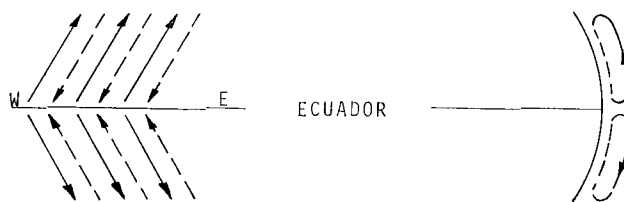


Fig. 3.—Circulación de Hadley (— — — vientos alisios)

(esto es, siguiendo contornos en los que el espesor de fluido paralelamente al eje de rotación sea constante); es decir, el movimiento principal ha de ser siguiendo los círculos paralelos (circulación zonal).

Toda la circulación atmosférica es debida al calentamiento solar y a la estratificación que causa el campo gravitatorio terrestre. En los océanos y mares la estratificación suele ser estabilizante porque la energía solar se absorbe en las primeras capas superiores, que al estar más calientes son menos pesadas y «flotan» (las corrientes marinas son forzadas por el viento en la superficie). En cambio, la estratificación en la atmósfera se hace inestable cuando la energía solar pasa a través de la atmósfera (que es permeable a estas longitudes de onda) y calienta el agua y la tierra y la capa atmosférica en contacto, que, al estar más caliente y ser más ligera que el resto, asciende, sobre todo en el Ecuador, en forma de chorro, aspirando aire de las zonas templadas (son los llamados vientos alisios); al acercarse al Ecuador van separándose del eje de giro de la Tierra, así que se retrasan con respecto a la rotación de la Tierra para la conservación del impulso angular absoluto (o por las fuerzas de Coriolis, como se quiera explicar). La corriente de aire ascendente está saturada de vapor de agua por la gran evaporación en estas latitudes, donde los rayos del sol inciden perpendicularmente, por lo que al disminuir la presión el vapor se condensa y da lugar a las lluvias torrenciales de Indonesia, Congo y Venezuela. Este aire caliente se mueve hacia los Polos, esta vez adelantándose al movimiento de rotación de la Tierra (fig. 3), pero esta corriente (circulación de Hadley) se hace inestable a unos 30° de latitud (2), y la corriente superior cálida y seca incide sobre el suelo, ocasionando las regiones desérticas del Sahara, Kalahari, Australia, etcétera.

En las latitudes medias (zonas templadas) existe en todo el espesor de la atmósfera una corriente general hacia el Este, siguiendo más o menos los círculos paralelos con ondulaciones azimutales que se llaman ondas planetarias (ondas de Rossby), que en la Tierra son de cuatro a ocho períodos. A gran altura, estas corrientes pueden desencadenar en chorros de hasta 200 km/h. Cerca del suelo, en los meandros de las ondas planetarias, se alternan las zonas de alta y baja presión: anticiclones y depresiones, respectivamente. Esta estructura se desplaza lentamente hacia el Este con velocidad menor que la del viento y constituye la base fundamental de las previsiones meteorológicas en estas latitudes.

(2) Sobre un planeta de rotación lenta, como Venus, la circulación de Hadley se prolongaría hasta las regiones polares⁴.

REFERENCIAS

- 1 Simon, A. L., «Energy Resources», Pergamon Press, 1975.
- 2 Kellogg, W. W., «Global influences of mankind on the climate», en «Climatic Change», Ed. Gribbing, J., Cambridge Univ. Press, 1978.
- 3 Gal-Or, B., «Modern Developments in Thermodynamics», John Wiley & Sons, 1974.
- 4 Talagrand, O., et al., «Eléments de Météorologie Dynamique», en «Fluid Dynamics», Ed. Baliau, R., Gordon and Breach Science Publ., 1977.