

METEOROLOGÍA (II)

LOS MOVIMIENTOS DE LA TIERRA EN EL ESPACIO Y LA RADIACIÓN SOLAR COMO CAUSAS DEL ROMPECABEZAS METEOROLÓGICO

Fernando Llorente Martínez, INM

INTRODUCCIÓN

La causa principal del rompecabezas meteorológico es el Sol y el movimiento de la Tierra posición respecto de él. Recordamos que nuestro planeta está dotado de dos movimientos astronómicos principales:

- **Movimiento de rotación**, en 24 horas, efectuándose de Oeste a Este; provocando un movimiento aparente del Sol y los demás cuerpos celestes en sentido inverso.

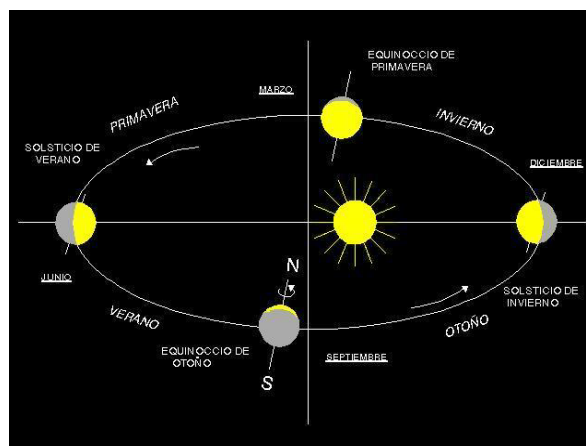
- **Movimiento de traslación** alrededor del Sol, en algo más de 365 días. En este movimiento nuestro planeta describe una órbita elíptica, casi circular, estando el Sol en uno de los focos. Cuando nos encontramos más cerca de él -mes de enero- estamos a 147.7 millones de kilómetros, es el *perihelio*; y en el momento más alejado -mes de julio- la distancia es de 152.2 millones de kilómetros, es el *afelio*.

Otro punto importante es la **inclinación** de $23^{\circ} 27'$ del eje imaginario de rotación terrestre con respecto a la *eclíptica*, o plano que forma nuestra órbita alrededor del Sol.

Todos estos movimientos provocan las estaciones, la sucesión de días y noches y las diferencias de temperatura consiguientes entre los distintos puntos de nuestro planeta, dando lugar a todos los fenómenos meteorológicos que conocemos.

LAS ESTACIONES

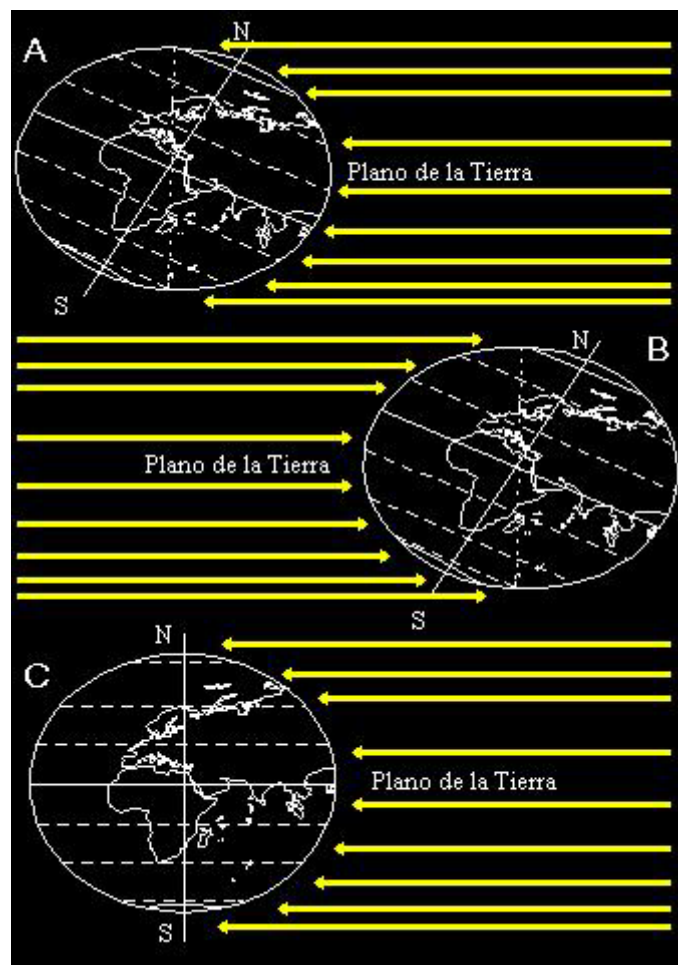
Desde niños sabemos que el año tiene cuatro estaciones *primavera*, *verano*, *otoño* e *invierno*. Las dos primeras componen el medio año en que los días duran más que las noches, mientras que en las otras dos las noches son más largas que los días.



Ilustr. 1. Mecanismos de las estaciones.
Fuente: Fernando Llorente Martínez.

A causa de la inclinación del eje de rotación, estas cuatro divisiones del año no se producen al mismo tiempo en ambos hemisferios, sino que están invertidas la una con relación a la otra; cuando aquí, por ejemplo, es verano, en el hemisferio austral es invierno.

Las estaciones están determinadas por cuatro posiciones principales, opuestas dos a dos simétricamente, que ocupa la Tierra durante su recorrido entorno al astro rey y que reciben el nombre de *solsticios* y *equinoccios*. El comienzo astronómico de las estaciones se produce cuando nuestro planeta alcanza alguno de esos puntos, la primavera comienza en el *equinoccio de primavera*, el 20 o 21 de marzo, durando hasta el *solsticio de verano* 21 o 22 de junio, momento de comienzo del verano -cuando el sol ilumina más nuestro hemisferio y más horas de luz hay-, que durará hasta el *equinoccio de otoño* - lo mismo que en el de primavera, la iluminación es igual en ambos hemisferios, doce horas de luz y doce de oscuridad - el 23 o 24 de septiembre fecha de comienzo de esta estación, y, finalmente, cuando alcancemos el día el 21 o 22 de diciembre, *solsticio de invierno*, entraremos en esta estación -que es cuando menos horas de luz disfrutamos-. La causa de que las estaciones no principien siempre en el mismo momento, es debida a las perturbaciones que sufre la Tierra en su giro alrededor del Sol.



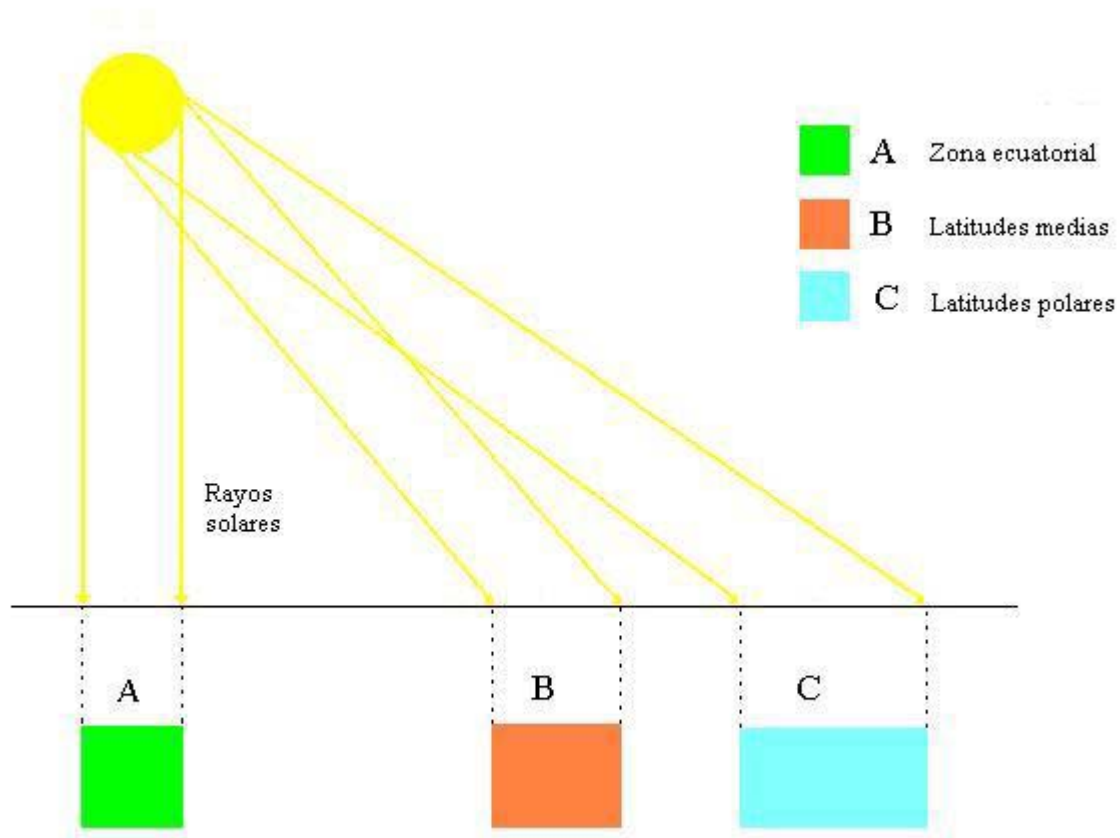
Ilustr. 2. Posición de la Tierra respecto al Sol en los solsticios y en los equinoccios. Fuente: Fernando Llorente Martínez.

PIE de la ilustración 2: Estas tres imágenes nos muestran la posición de la Tierra respecto al sol en distintos momentos del año. En el dibujo A nos encontramos en el "solsticio de verano"; la insolación media en nuestra latitud es de 15 horas; a 53° norte, cerca de 17 horas y en el Polo Norte, 24 horas -6 meses de luz-; mientras que en el Hemisferio Sur empieza el invierno, 6 meses de oscuridad en la Antártida. En el dibujo B nos encontramos en el "solsticio de invierno"; la insolación media en nuestra latitud es de unas 9 horas; reduciéndose a medida que nos acercamos al Polo Norte donde es de noche -6 meses de oscuridad-. En el Hemisferio Sur se inicia el verano y en el Polo Sur comienzan los 6 meses de luz. En el último dibujo, el C, tenemos la posición de la Tierra en los dos equinoccios, primavera y otoño. La insolación media es de 12 horas en todas las latitudes geográficas. Las flechas representan los rayos solares.

Estas cuatro estaciones no tienen la misma duración, principalmente a causa de la órbita terrestre, pues la Tierra recorre su trayectoria alrededor del astro rey con velocidad variable, más aprisa cuanto más cerca está del Sol y más despacio cuanto más alejada se encuentra. Esto también provoca que el rigor de cada estación no sea el mismo en ambos hemisferios. Nuestro planeta está más cerca del astro rey a principios de enero que a principios de junio, y en conjunto, a parte de otros factores, el invierno en nuestro hemisferio es menos frío que en el Hemisferio Sur y el verano en éste es más caluroso que en el nuestro.

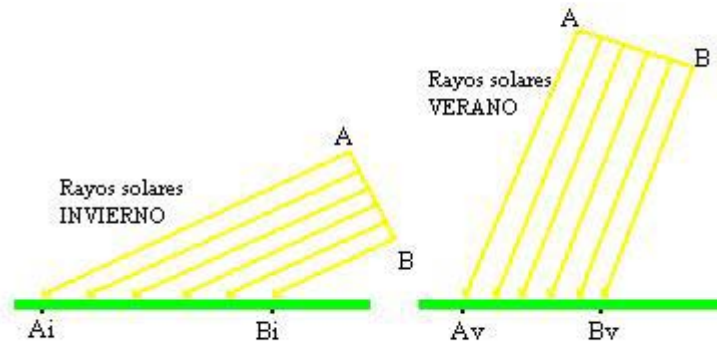
RADIACIÓN SOLAR

Podemos considerar que el Sol es el "motor" de nuestro planeta, como si fuera una gigantesca pila de fusión nuclear, convirtiendo en su seno el hidrógeno en helio a un ritmo de 700 millones de toneladas cada segundo y emitiendo una cantidad enorme de calor en forma de radiación electromagnética; de la cuál a la Tierra le corresponde aproximadamente una energía de **2 calorías por centímetro cuadrado** y por minuto, que es la llamada *constante solar*.



Ilustr. 3. Inclinación de los rayos solares. Fuente: Fernando Llorente Martínez.

PIE de la ilustración 3: El ángulo de incidencia de los rayos determina la insolación recibida por unidad de superficie. Los rayos perpendiculares se concentran en el cuadrado A, que representa a las zonas ecuatoriales; la misma cantidad de energía se reparte en superficies cada vez mayores a medida que aumenta la oblicuidad de los rayos solares, es decir, al desplazarnos hacia los polos.



Ilustr. 4. Diferencia de superficie calentada por el sol en ambos solsticios. Fuente: Fernando Llorente Martínez.

PIE de la ilustración 4: En esta otra ilustración está representada la inclinación con que llegan al suelo los rayos solares en un punto situado en las latitudes medias en las épocas del solsticio de invierno -lado izquierdo de la imagen-, donde la inclinación de los rayos es máxima y su poder calórico es mínimo, al repartirse la misma cantidad de energía en un área mayor; y en el solsticio de verano, donde los rayos están muy cerca de la perpendicularidad y se concentran en un área menor, con un rendimiento energético mucho mayor. En este caso en el que nos referimos y para esas dos épocas del año, el área calentada es 6 veces mayor en invierno que en verano, por eso, la energía recibida es aproximadamente 6 veces menor.

La radiación que emite el Sol es de *onda corta*, con un espectro que va desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, estando centrada en la **parte visible** del espectro, siendo este el motivo por el cuál la mayoría de los seres vivos ven en esta frecuencia de radiación. Parte de este flujo lo absorben o reflejan los componentes atmosféricos -ozono, vapor de agua, nubes, etc.- y otra parte llega a la superficie de la Tierra. Una vez que esta energía entrante es absorbida por el sistema terrestre de atmósfera-superficie, se transforma en energía calórica; que a su vez también es reenviada al espacio, pero en forma de radiación de *onda larga*, como radiación infrarroja. Esta radiación no es detectable por el ojo humano, pero si puede ser sentida por nuestra piel. Por ejemplo, cuando la resistencia de un calentador eléctrico esta al rojo vivo, radiará tanto radiación infrarroja como visible; pero cuando lo apagamos, gradualmente perderá su color -radiación visible-, pero si acercamos una mano, notaremos el calor, porque continua emitiendo radiación infrarroja.

Pero no toda la energía que radia la Tierra se pierde directamente al espacio exterior, una parte es absorbida por los gases y las nubes de la atmósfera, produciendo el llamado **efecto invernadero**. Los principales gases que lo producen son el **oxígeno** -en ciertas longitudes de onda- y el **vapor de agua** -el más importante-, junto con el **dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano, el ozono y los clorofluorocarbonados**. Mientras que el gas dominante en la composición de nuestra atmósfera, el **nitrógeno**, es totalmente transparente a esta radiación. Por último, no debemos de olvidarnos de las nubes, que también son un fuerte absorbente de la radiación infrarroja. Un ejemplo del poder absorbente del vapor de agua y de la nubosidad, lo podemos observar si comparamos una noche de invierno, con aire seco y sin nubosidad en el cielo, con otra de cielo nublado y humedad. En el primer caso, muy poca de la radiación infrarroja emitida por la Tierra regresará a su superficie, de tal forma que la temperatura en este tipo de noches bajará significativamente; mientras que en el segundo caso, la radiación emitida por la superficie terrestre es absorbida por las nubes y el vapor de agua y re-radiada hacia la superficie, evitando así que la temperatura descienda mucho.

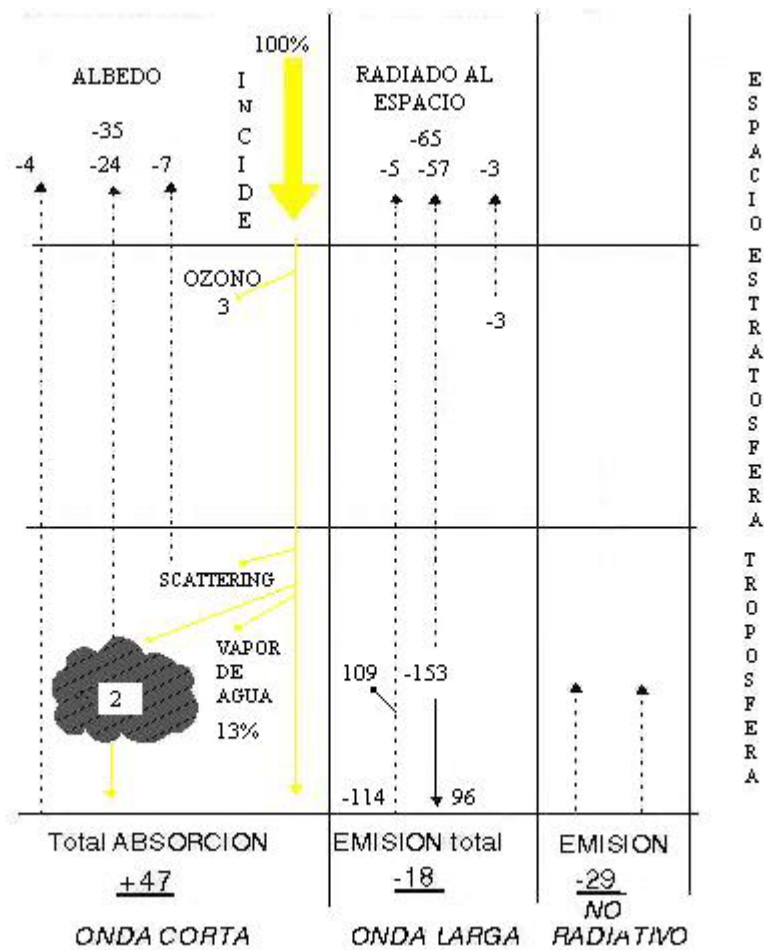
BALANCE ENERGÉTICO GLOBAL

Puesto que se ha comprobado que la temperatura del sistema tierra-atmósfera, unos 15 grados centígrados, no ha variado sensiblemente en los últimos tiempos; y ya que la energía recibida del Sol es una constante, nuestro planeta debe de perder una cantidad igual de energía que la recibida.

A este intercambio de energía se le conoce como **balance energético espacio-tierra-atmósfera**. Demos a la radiación solar incidente de onda corta que llega a nuestra atmósfera un valor de 100 unidades. Entre el *ozono estratosférico, el vapor de agua, el dióxido de carbono y las nubes*, se produce una absorción de **18** unidades. *Las nubes*, a su vez, reflejan radiación hacia el espacio, por valor de **24** unidades, y el *resto de partículas atmosféricas* reflejan otras **7**. Por tanto, *la energía que llega al suelo*, bien directa o indirectamente es de **47** unidades; de las cuales, los distintos *componentes de la superficie terrestre* reflejan una media de 4.

La superficie de la Tierra transforma la energía solar en radiación de onda larga -calorífica-, que al emitirla hacia el espacio, a la temperatura de 15 grados centígrados, le corresponden **114 unidades**; de las cuales, **109** son absorbidas por el vapor de agua, el dióxido de carbono y las nubes, calentando así las capas bajas de la atmósfera. Esto supone que la troposfera se calienta por abajo, y no desde arriba como podíamos pensar en un primer momento; esta es la explicación del descenso de la temperatura con la altura en esta capa inicial atmosférica. Por tanto vemos que sólo **5** unidades de la energía que pierde la superficie terrestre se escapan directamente al espacio.

Nuestra envoltura gaseosa irradia también parte del calor recibido de la tierra hacia el espacio, **57 unidades**, y devuelve hacia el suelo otras **96**. Para completar el balance energético, tenemos que tener en cuenta la energía que se produce en los procesos internos de nuestro planeta y en los intercambios de calor entre la evaporación y condensación; con lo cual nos encontramos con otras **29** unidades. Además, si sumamos el albedo de nuestro planeta, "porcentaje de energía reflejada directamente por la superficie de la Tierra hacia el espacio", **35** unidades, a la energía perdida al espacio por la atmósfera, **65** unidades, igualan a la recibida desde el Sol **100 unidades**.



Ilustr. 5. Balance energético global. Fuente: Fernando Llorente Martínez.

Resumamos y a la vez verifiquemos el balance en cada una de las cuatro regiones en las que se produce intercambio de energía:

- Espacio: Recibe **100 unidades** del sol en forma de onda corta y pierde otras tantas de la siguiente forma, **35** unidades del albedo terrestre -4 directamente emitidas por el suelo, **24** reflejadas por las nubes y **7** reflejadas por las partículas atmosféricas- y **65** unidades en forma de onda larga -5 perdidas directamente del suelo, **57** provenientes de la troposfera y **3** de la estratosfera-.

- Estratosfera: Gana y pierde **3 unidades** por la absorción y emisión del ozono.

- Troposfera: Absorbe **15 unidades** por el vapor de agua y las nubes y **109** de la radiación emitida por la superficie terrestre. Además de esta radiación, recibe otras **29** unidades de los procesos no radiativos que se producen en el suelo; con un total de **153** unidades. La emisión de esta parte de la atmósfera es de **57** unidades hacia el espacio y de **96** hacia la superficie terrestre; con lo cual el balance vuelve a ser equilibrado.

- Suelo: Gana **47 unidades** por absorción de la luz solar, directa o indirectamente y **96** unidades de la radiación troposférica; un total de **143**. Emite **114** en forma de onda larga y otras **29** unidades en los procesos no radiativos.

Como podemos comprobar no existe pérdida ni ganancia de energía y gracias a todos estos hechos naturales, se puede mantener el equilibrio térmico de nuestro planeta.

Nota de la RAM. Este artículo forma parte del segundo de la serie que Fernando Llorente realiza. El anterior apareció en la RAM 6 de diciembre del 2002. Ambos forman parte de un bloque común que irán apareciendo en esta revista.

ram@meteored.com