

LA ENERGIA EN DISTINTOS NIVELES ATMOSFERICOS

*C. Tomás, E. García, M. Egido y J. Garmendía
Departamento de Física de la Tierra y del Cosmos
Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.*

1. Introducción

El calentamiento atmosférico tiene, como se sabe, su última causa en la radiación solar. La atmósfera es prácticamente transparente a la radiación solar directa (onda corta) y es a través del calentamiento del suelo, con la consiguiente emisión de onda larga, como se produce el caldeo atmosférico. La relación causa-efecto queda, de esta forma, perfectamente establecida. El problema de este calentamiento se complica, y mucho, cuando se tiene en cuenta que mientras el suelo (cada unidad de superficie terrestre) está localizado perfectamente, el aire es un fluido sujeto a unas leyes de movimiento muchísimo más complejas. De ello se deduce que la energía recibida por el suelo (radiación global) es fácilmente medible en cada lugar, mientras que la energía asociada a la unidad de masa de aire en un lugar determinado, a pesar de ser medible, es el resultado de una serie de contribuciones energéticas que ha recibido dicha unidad de masa en su «deambular» por el espacio atmosférico. Más aún, al estar el aire en incesante movimiento, la unidad de masa sobre un lugar no es un ente físico perfectamente definido en el tiempo. En este contexto, el problema del caldeo atmosférico es un problema de propiedades de transporte de gases.

2. Análisis promediado

El problema anterior se simplifica al analizarlo desde el punto de vista estadístico. Si elegimos un período de dos años en que calculamos la radiación promedio mensual, y en ese mismo período

evaluamos los promedios mensuales del Potencial de Montgomery en diversos niveles de presión, al analizar ambas evoluciones a lo largo del año observaremos un desfase. Esto es precisamente lo que vamos buscando, bien entendido que para un lugar determinado y su vertical, la relación entre la radiación recibida (G) y el Potencial de Montgomery (M) (energía por unidad de masa) en diversos niveles no es una relación causa-efecto, tal y como hemos señalado en la introducción. Si el interés de la Física reside, sin duda, en establecer relaciones causa-efecto (cualitativas y cuantitativas), ¿qué interés tiene señalar unos desfases entre la radiación global en el suelo y el Potencial de Montgomery en diversos niveles de la vertical, sin existir relación causa-efecto? Nosotros pensamos que tiene interés a nivel estadístico y más adelante lo justificaremos.

El Potencial de Montgomery tiene por expresión:

$$\begin{aligned}M &= c_p T + g Z \\c_p &= 1.012 \text{ J/kg K} \\g &= 9,8 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Para un lugar como la vertical de Madrid-Barajas (sondeo de las 00 T.M.G.) M puede ser una buena aproximación a la energía por unidad de masa, ya que los efectos cinéticos y de cambio de estado son, a nivel estadístico, de menor orden de magnitud.

La evolución que presenta M a lo largo del año en cualquier nivel es de la forma que se presenta en la figura 1.

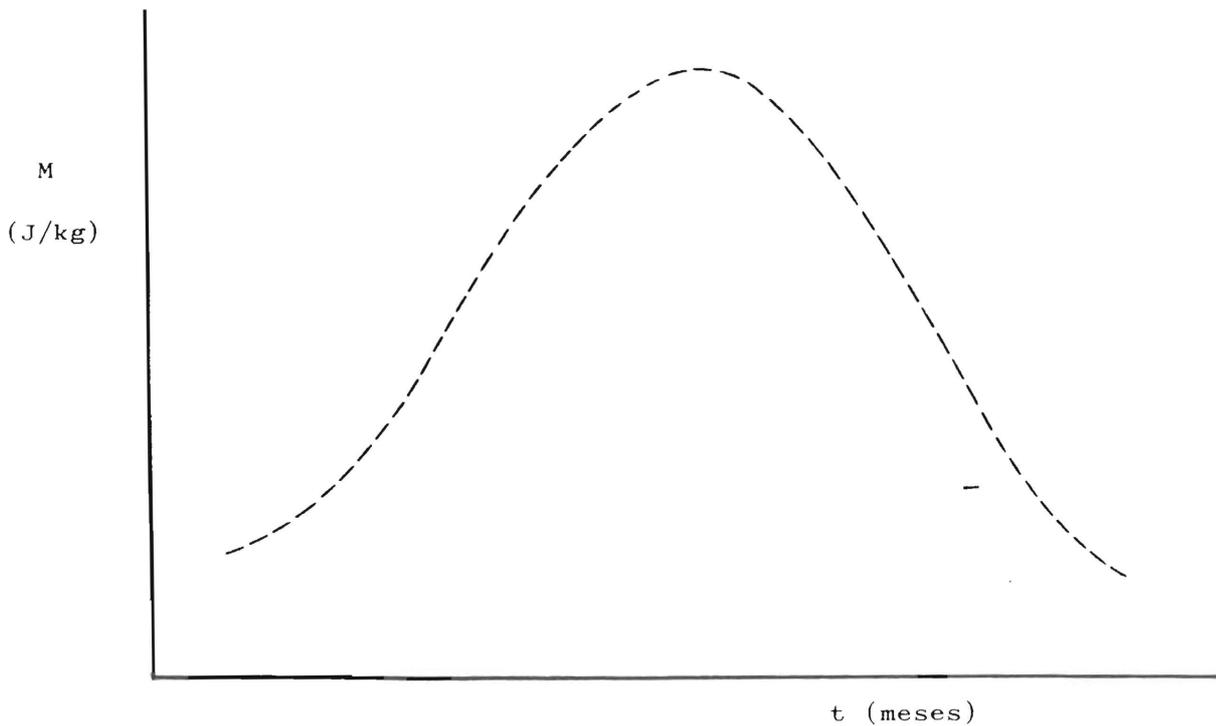


Figura 1.

Puede observarse que en dicha figura no han sido señalados los meses ya que los valores de M varían según los niveles. Esto es, precisamente, lo que queremos presentar.

Por otra parte, la evolución local de G a lo largo del año es consecuencia, por un lado, de la posición de la tierra en su movimiento orbital alrededor del sol; posición que implica un determinado ángulo de inclinación de los rayos solares y ello explica las diferencias de energía radiante de onda corta recibida para cada época del año en cada uno de los lugares de la tierra.

De otro lado, hay que considerar los efectos de atenuación de la radiación solar que tienen lugar en la atmósfera: albedo, dispersión, etc., que justifican la variabilidad de la energía recibida en el suelo respecto de la que incide en el tope de la atmósfera para el mismo lugar.

Para los efectos de este trabajo consideramos los valores de radiación global (Directa + Difusa) recibidos sobre una superficie horizontal (datos actinométricos) expresados en calorías por cm^2 y día (L_y).

Parece claro, por tanto, que las magnitudes indicadas, M y G , representan energías de evolución periódica.

El período de estudio ha sido 1960-1966. Para evaluar M en los niveles 850, 700 y 500 hPa hemos usado los radiosondeos efectuados en Madrid-Barajas a las 00 T.M.G. Los datos de radiación corresponden a la Estación de Madrid-Retiro. También hemos representado la evolución de la temperatura media (T) de este último Observatorio. Los valores obtenidos se representan en la tabla 1 y en la figura 2.

Tabla 1

Mes	G (L_y)	T ($^{\circ}\text{C}$)	M_{850}	M_{700}	M_{500} (J/kg)
Enero	157,87	6,0	292.951	300.623	308.780
Febrero	232,60	7,3	293.894	300.270	308.204
Marzo	341,54	10,0	295.138	301.138	309.444
Abril	474,70	12,8	297.306	302.503	311.289
Mayo	565,10	17,8	303.277	307.443	316.356
Junio	587,54	21,1	306.045	310.045	319.216
Julio	620,50	24,0	309.878	313.365	322.513
Agosto	556,83	23,7	310.475	314.295	323.198
Septiembre	414,34	19,1	306.995	310.943	319.774
Octubre	279,53	14,0	300.123	306.297	316.166
Noviembre	165,90	8,3	294.968	302.020	311.222
Diciembre	152,83	5,5	293.339	301.233	310.154

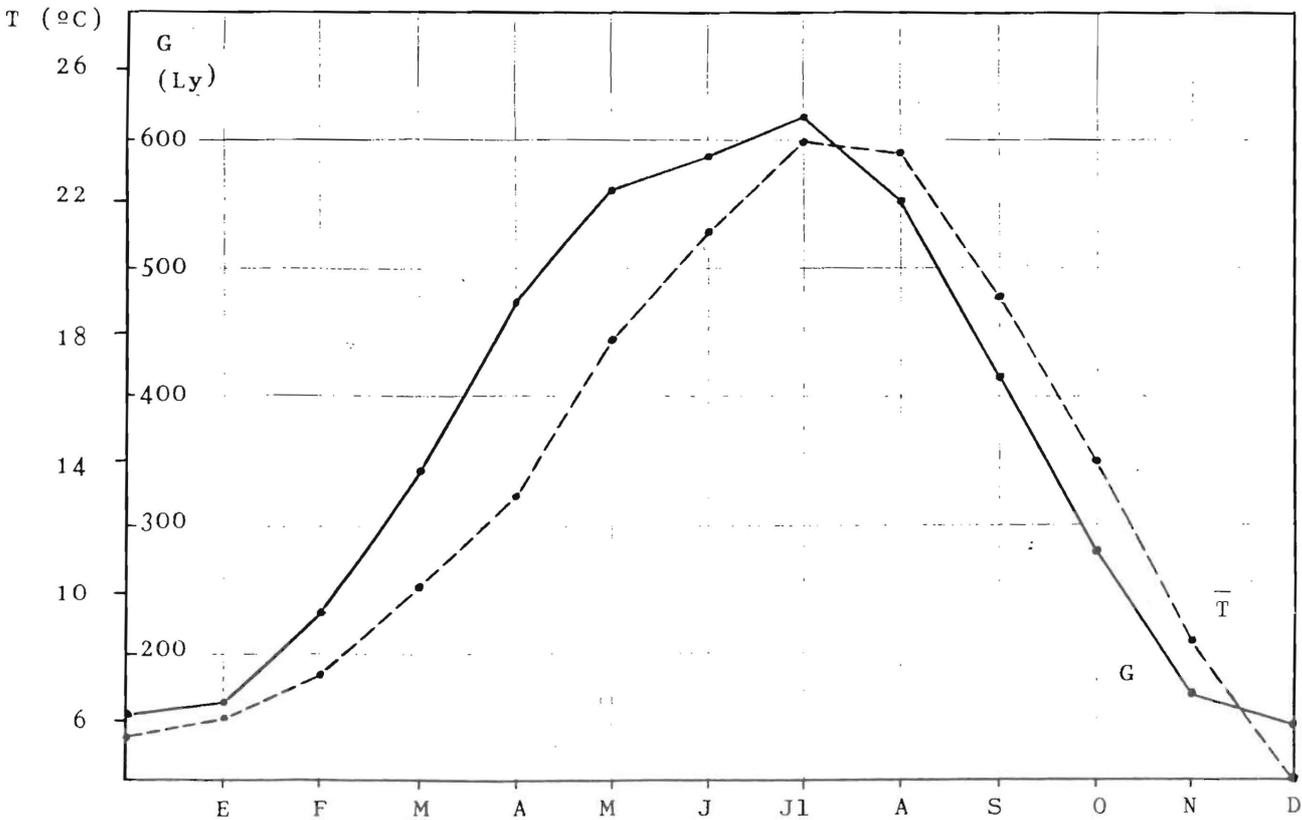
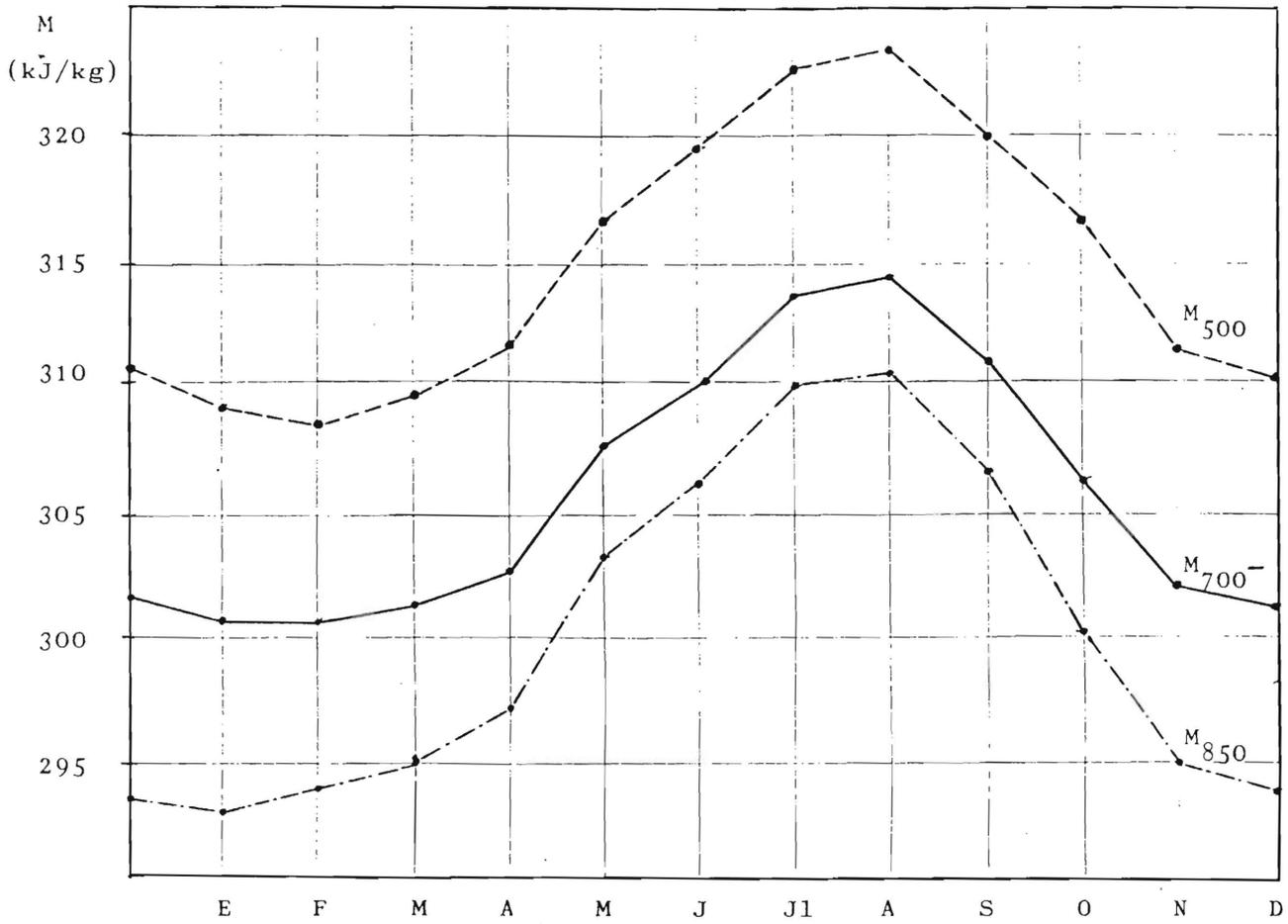


Figura 2.

Para cada magnitud es asociada una serie de Fourier del tipo:

$$Y(t) = Y_0 + \sum_{j=1}^{N/2} (a_j \cos j\omega t + b_j \sin j\omega t)$$

donde a_j y b_j son las amplitudes armónicas e Y_0 es la amplitud media.

Las expresiones obtenidas son las siguientes:

$$G(t) = 379,11 - 226,00 \sin \omega t + 7,60 \sin 2 \omega t + 1,56 \sin 3\omega t + 4,04 \sin 4\omega t + 88,85 \cos \omega t + 10,67 \cos 2\omega t - 14,11 \cos 3\omega t + 3,49 \cos 4\omega t.$$

$$\bar{T}(t) = 14,13 - 9,17 \sin \omega t + 0,73 \sin 2\omega t + 0,10 \sin 3\omega t + 0,07 \sin 4\omega t - 0,21 \cos \omega t + 1,07 \cos 2\omega t + 0,07 \cos 3\omega t + 0,20 \cos 4\omega t.$$

$$M_{850}(t) = 300.365,75 - 8728,88 \sin \omega t + 1181,25 \sin 2\omega t + 539,83 \sin 3\omega t - 301,25 \sin 4\omega t - 1304,53 \cos \omega t + 1280,71 \cos 2\omega t - 176,33 \cos 3\omega t + 158,34 \cos 4\omega t.$$

$$M_{700}(t) = 305.847,92 - 6688,90 \sin \omega t + 1222,92 \sin 2\omega t + 414,33 \sin 3\omega t - 150,92 \sin 4\omega t - 1699,24 \cos \omega t + 852,31 \cos 2\omega t - 236,50 \cos 3\omega t + 96,56 \cos 4\omega t.$$

$$M_{500}(t) = 314.963,00 - 7049,68 \sin \omega t + 971,00 \sin 2\omega t + 288,50 \sin 3\omega t - 6,00 \sin 4\omega t - 2057,14 \cos \omega t + 530,01 \cos 2\omega t - 175,83 \cos 3\omega t + 56,58 \cos 4\omega t.$$

Para nuestro estudio comparativo y por razones de operatividad estas expresiones las reducimos al tipo:

$$Y(t) = Y_0 + \sum_{j=1}^{N/2} c_j \sin (j\omega t + \varphi_j)$$

donde c_j es la amplitud del armónico j e igual a:

$$c_j = (a_j^2 + b_j^2)^{1/2}$$

y φ_j la fase inicial que equivale a:

$$\varphi_j = \arctg \frac{b_j}{a_j}$$

Las expresiones que resultan son:

$$G = 379,11 + 242,82 \sin (\omega t - 1,72)$$

$$\bar{T} = 14,13 + 9,17 \sin (\omega t - 2,12)$$

$$M_{850} = 300.635 + 8.825 \sin (\omega t - 2,24)$$

$$M_{700} = 305.847 + 6.901 \sin (\omega t - 2,34)$$

$$M_{500} = 314.693 + 7.343 \sin (\omega t - 2,38)$$

A partir de estas expresiones, previa transformación de los radianes a días, se deducen los correspondientes desfases medios, que presentamos en la tabla 2.

Tabla 2

G	T	$\Delta\varphi = 23,5$ días
T	M_{850}	$\Delta\varphi = 6,3$ días
M_{850}	M_{700}	$\Delta\varphi = 5,7$ días
M_{700}	M_{500}	$\Delta\varphi = 2,3$ días

Es ahora el momento de la justificación. La radiación global en el suelo (G) presenta una evolución anual que se sitúa por delante de la evolución anual de \bar{T} ; a su vez, ésta está adelantada a la de M_{850} , ésta a la de M_{700} , apareciendo la última la de M_{500} . Es decir, los calentamientos (enfriamientos) parecen ir de abajo a arriba, en total consonancia del hecho aceptado por toda la comunidad científica de que la atmósfera se calienta desde abajo (suelo).

El interés de este trabajo reside, a nuestro juicio, en que si sobre la vertical de un lugar señalamos los niveles suelo 850, 700 y 500 hPa, las evoluciones a lo largo del año de las energías asociadas a la unidad de superficie (suelo) y a la unidad de masa (niveles superiores) no van en fase.

Quedan evidentemente, ciertos aspectos por concretar. El más destacado quizá sea saber si esto ocurre para cualquier lugar del planeta o, dicho de otro modo, cómo serán esos desfases en otros puntos donde la dinámica atmosférica sea distinta? Esto lo analizaremos en posteriores trabajos pero aquí podemos adelantar que siempre existe dicho desfase. En concreto, entre las evoluciones de G y de \bar{T} ya fueron presentados por Seco et al. (1973).

Por otra parte puede explicarse así el mínimo de M_{500} en febrero apuntado ya en la bibliografía por C. Tomás et al.

3. Resumen

En el análisis de las evoluciones anuales de la radiación solar global (G), del Potencial de Montgomery (M) evaluado en los niveles de 850, 700 y 500 hPa, así como de la temperatura media en superficie (\bar{T}) se han ajustado series armónicas de Fourier y se han determinado las relaciones de fase entre estas variables. Se llega a la conclusión de que el desfase, tomando como origen la radiación, es creciente con la altura.

4. Bibliografía

- S. M. N.: Radiación Solar Global en España. 1974: Publicación D-34, IN.M., Madrid.
- SECO, J; EGIDO, M. y GARMENDIA, J: Relación entre temperatura y radiación. Vrania, núms. 277-278. Tarragona, 1973.
- TOMÁS, C; GARCÍA, E. y GARMENDIA, J: El Potencial de Montgomery como variable climatológica asociada a los días estadísticamente fríos. Anales de Edafología y Agrobiología (en prensa).