

La previsión del tiempo

a largo plazo

y las manchas solares

Por RAMON NUEZ CASANOVA

Es un hecho hace tiempo comprobado en Meteorología la existencia dentro de la masa atmosférica que rodea la Tierra, de zonas o masas aéreas, cuyas propiedades características, como la temperatura y humedad, son muy diferentes, y cuyas superficies de separación vienen determinadas por una transición brusca en los valores de dichos elementos.

Estas llamadas masas de aire están constituidas por el aire estacionado durante cierto tiempo sobre determinadas regiones del Globo, de las cuales toman sus propiedades características, las que pueden ser modificadas, cuando la masa se pone en movimiento, según la naturaleza de las regiones sobre que se desplaza.

Las diferentes masas aéreas no están nunca en reposo, con su límite de separación invariable, sino que reaccionan constantemente entre sí, produciendo penetraciones mutuas y retiradas (fig. 1), originando de este modo los llamados frentes activos, en

los cuales se producen las alteraciones atmosféricas más notables.

Esta permanente actividad de las masas de aire produce variaciones constantes en las condiciones atmosféricas sobre la superficie terrestre, y el objeto de la predicción consiste en determinar lo más exactamente posible, a partir de una situación atmosférica conocida, mediante un detallado análisis del tiempo, la probable varia-

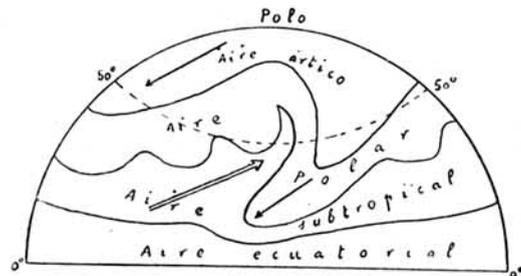


FIG. 1. — Esquema de la situación de las masas aéreas sobre el hemisferio Norte en un momento determinado.

ción de los elementos meteorológicos y la nueva situación a que hayan de dar lugar en un plazo más o menos largo.

Esta operación, aunque bastante complicada e incierta a veces, puede proporcionar una visión lo suficientemente exacta de la situación futura en un plazo relativamente corto, si se cuenta con elementos de juicio suficientes; pero la dificultad aumenta notablemente cuando se trata de una previsión a largo plazo, pues entonces pueden entrar en juego factores extraños, distintos a los normales, cuya presencia es siempre difícil de prever.

Se sabe, por ejemplo, que es después del solsticio de invierno la época en que deben producirse las temperaturas más bajas del año y en que las masas frías del Polo presentan su máximo avance hacia las bajas latitudes; sin embargo, no siempre ocurre así: hay inviernos en que las más bajas temperaturas se registran antes o después de esta época, alterándose sensiblemente con ello la evolución normal del tiempo en extensas regiones del Globo. Lo mismo podríamos decir, aunque en sentido inverso, con respecto a la estación cálida.

¿Cuál es la causa de estas anomalías? Evidentemente, esta causa no puede encontrarse en la superficie terrestre ni en la misma atmósfera, pues ninguna influencia de este origen podría explicar la irregularidad que se observa en estas alteraciones. Ha de ser una causa exterior al planeta la que produzca tales alteraciones, y esta causa no puede radicar sino en la radiación solar, origen de toda la vida y actividad sobre la Tierra. Sabemos, efectivamente, que todos los fenómenos atmosféricos son consecuencias directas del calor solar, estando sus variaciones en estrecha relación con las variaciones de éste; luego podemos suponer que, además de las variaciones en la cantidad de radiación recibida en cada lugar de la Tierra, a causa de la variable inclinación con que recibe los rayos solares, duración del día, etc., variaciones periódicas que podríamos llamar normales, hay otras variaciones irregulares y anormales, consecuencia de variaciones en la intensidad de radiación emitida, que deben ser la causa prin-

cipal de las irregularidades antes mencionadas.

Estas variaciones en la intensidad de la radiación emitida por el Sol, deben ser indudablemente producidas por variaciones en la actividad de éste; y, en efecto, está comprobado que el Sol experimenta variaciones periódicas en su actividad, que se manifiestan por un mayor desarrollo y cantidad de las protuberancias, coincidiendo con una mayor cantidad de manchas solares.

El primero que descubrió este período de variación fué Schwabe, en 1843. Más tarde, R. Wolf, de Zurich, construyó la curva representativa de la actividad solar, en la cual descubrió máximos de intensidad a intervalos variables de ocho a diecisiete años, de los que obtuvo una media de 11,125 años, que es el período más aproximado. Según Wolfer, este período es aproximadamente $\frac{1}{3}$ de otro período más amplio de $33\frac{2}{3}$ de años. Analizando la curva de Wolf, Schuster descubrió indicios de otros períodos, relacionados todos ellos por la igualdad

$$33,375 = 3 \times 11,125 = 4 \times 8,344 = 7 \times 4,768.$$

Estas manifestaciones de la actividad solar, ¿son relativamente recientes, o bien se han debido producir desde los primeros tiempos de la vida del astro? Si admitimos la hipótesis de Chamberlin y Moulton sobre la formación del sistema solar a partir de la nebulosa primitiva, según la cual la separación de la masa central de los diferentes núcleos que formaron los planetas fué debida a la fuerza de atracción de un astro que al pasar casualmente por las proximidades de la masa solar, todavía en estado de nebulosa con núcleo, produjo una especie de flujo, del mismo modo que la atracción de la Luna sobre la masa terrestre produce las mareas, originando un desplazamiento en la masa e iniciándose un movimiento de rotación y el subsiguiente desprendimiento de parte de esta masa; y si recordamos que, según la Geología, a principios de la era cuaternaria se produjeron sobre la Tierra los llamados períodos glaciales o invasiones de hielo, en los que éstos llegaron a cubrir casi toda Europa y el norte de América, y

que antes de dicha época la temperatura había sido sensiblemente uniforme sobre toda la Tierra, podemos suponer que quizá entonces se produjo un fenómeno de aproximación de astros análogo, aunque de menos importancia al que la teoría de Chamberlin admite, y se iniciara el período de actividad solar variable que se haya conservado hasta los tiempos actuales, aunque, como es natural, amortiguándose progresivamente.

Se han propuesto diversas teorías para explicar estas variaciones en la actividad solar. La Rive y Stewart suponen la acción de una especie de marea producida en la fotosfera solar por la atracción de algún planeta, o más bien por la acción combinada de dos de éstos en las épocas de conjunción u oposición con respecto al Sol. Jean Malburet también es partidario de esta teoría, y supone que en las épocas de conjunción u oposición de Júpiter y Venus, es decir, cuando estos dos planetas están alineados con el Sol, se producen estos efectos de marea; tomando en consideración estos planetas por la gran masa del primero y por la proximidad al Sol del segundo, además de la regularidad periódica de sus alineaciones. Pero si tenemos en cuenta lo insignificante de la masa de Venus comparada con el Sol y la enorme distancia de Júpiter, unas cinco veces la distancia media de la Tierra al Sol, aun teniendo en cuenta la gran masa de aquél, como la acción atractiva se ejerce en razón inversa del cuadrado de la distancia, no es de presumir que aquella acción pueda ser apreciable.

Herschel atribuye este aumento periódico de actividad a la caída de meteoritos en la superficie solar, procedentes de las constelaciones de Perseo y el León, que, como es sabido, tiene su máxima actividad en los días 10 a 13 de agosto y 12 a 14 de noviembre, respectivamente; pero tampoco esta teoría es fácilmente admisible, pues lógicamente tales lluvias de meteoritos debían producir perturbaciones en la Tierra al pasar por sus proximidades.

Tiene que ser, pues, una causa interna la que produzca estas alteraciones en la actividad solar; pero esta causa es difícil de hallar dado el desconocimiento que tenemos del origen de la actividad y energía solar.

Sobre esto se han emitido también diversas hipótesis, luego desechadas, como la de la combustión, que considera a ésta como el origen de la energía solar; la de Mayer, que atribuye este origen a la caída de materia cósmica, también desechada, pues no se han observado las perturbaciones a que en la Tierra debieran dar lugar si su origen fuera exterior a la órbita terrestre, y en caso de ser interior a éste, su acción sería despreciable, pues más que la energía desarrollada en la combustión al caer en el Sol, habría que tener en cuenta la energía producida en el choque, y dada la distancia, relativamente pequeña, sería insuficiente para producir ningún efecto sensible.

Helmholtz propuso la teoría llamada de la contracción, según la cual dicha energía sería producida por la constante contracción experimentada en la masa solar desde los tiempos de su estado en forma de nebulosa; pero tampoco esta teoría parece haber tenido aceptación.

Otra teoría ideada, partiendo de la teoría de la relatividad, es la de la transformación de la materia en energía, habiéndose fijado en 4.400.000 toneladas la cantidad de masa perdida por el Sol en cada segundo. Según la teoría de la relatividad, cada gramo masa engendra al transformarse en energía mc^2 ergios, siendo m la masa y c la velocidad de la luz.

Russell afirma, basándose en esta teoría, que 1/100 de la masa solar podría sostener el régimen actual de radiación durante ciento cincuenta millones de años. De este modo, la constante destrucción de materia solar podría producir la energía necesaria para la radiación solar.

Finalmente, cabe admitir la hipótesis de que en el interior del Sol se operen constantes fenómenos de desintegración atómica que constituyan el manantial constante de energía, ya que cada gramo de uranio durante su proceso de transformación hasta convertirse en plomo irradia cinco millones de calorías, habiéndose comprobado por medio del espectroscopio la existencia en el Sol de casi todos los cuerpos simples encontrados en la Tierra, incluso el uranio y otros cuerpos radioactivos. Podría además suceder, admitida esta teoría, que la distri-

bución de los cuerpos radioactivos en la masa solar fuese irregular, y debido a ello los fenómenos de desintegración se verificasen de un modo más o menos intermitente; pero tampoco así quedaría explicada la regularidad del período de actividad.

Renunciemos, pues, por ahora a explicar nos la causa de estas variaciones y tratemos solamente de estudiar sus efectos.

En cuanto a los efectos en la superficie solar, las protuberancias parecen una consecuencia natural; pero la aparición de las manchas solares no presenta tan fácil explicación.

Según Zöllner, las manchas pueden ser producidas por un enfriamiento local e irregular de la superficie solar; la penumbra que las rodea podría ser debida a corrientes gaseosas descendentes, que por estar a menor temperatura que la masa que las rodea serían menos brillantes. Pero esto está en contradicción con la estructura turbillonaria que, al parecer, tienen estas manchas.

Se ha comprobado, en efecto, que éstas son cavidades abiertas en la fotosfera, a manera de embudos, a través de los cuales se pueden ver las capas interiores más próximas al núcleo, que aparece oscuro por contraste con la superficie extraordinariamente brillante de la fotosfera. La materia que rodea estas cavidades y forma sus paredes no está inmóvil, sino que forma gigantescos torbellinos, cuyo vórtice constituye la mancha. Aunque la forma típica de éstas es aproximadamente circular, no es ésta la única forma que adoptan, ni siquiera la más frecuente; aparecen manchas de forma alargada e irregular, cuya longitud puede ser igual a seis veces el diámetro terrestre, y aun mayor; la transición entre la superficie brillante de la fotosfera y la oscuridad de la mancha no es brusca, sino que entre ambas hay una zona intermedia de tono menos oscuro llamada penumbra; también se observa en la proximidad de las manchas una mayor densidad de los puntos brillantes esparcidos por toda la fotosfera, llamados fáculas.

La formación de las manchas solares podría tal vez explicarse como resultado de dislocamientos producidos en la superficie solar por efecto de la rotación. Se sabe, en

efecto, que el Sol tiene un movimiento de rotación en sentido directo; es decir, en el mismo sentido que el de la Tierra y los planetas alrededor de un eje, cuya intersección con la bóveda celeste es aproximadamente el punto medio del arco de círculo máximo comprendido entre la estrella polar y la Vega de la constelación de la Lira. Este movimiento ha sido comprobado por la observación del movimiento de las manchas. El eje de rotación del Sol forma un ángulo de unos 7° con la perpendicular al plano de la Eclíptica, con lo cual resulta que la superficie visible del Sol es algo variable, pudiéndose observar hacia el 4 de enero la región polar del Norte, y hacia el 6 de julio la del Sur. También parece haberse comprobado que la velocidad angular de rotación en la superficie varía con la latitud, debiendo producirse, por tanto, movimien-

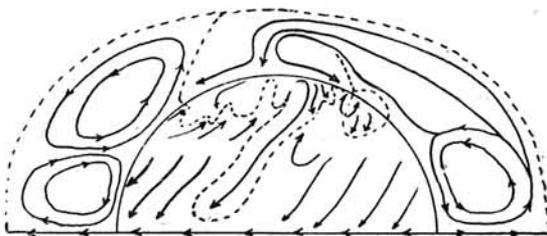


FIG. 2.—Idea de la circulación general atmosférica, según V. Bjerknes. Las flechas dentro del semicírculo indican la circulación en tierra. Las flechas fuera del semicírculo indican la circulación en altura. Las líneas de puntos representan superficies de discontinuidad en su intersección con el plano de la figura.

tos relativos de unas zonas respecto a otras, cosa explicable dado el estado de fluidez de la masa. En las épocas de mayor actividad estos movimientos relativos serán más acentuados, produciéndose movimientos circulatorios, que en determinadas circunstancias podrán originar torbellinos, del mismo modo que en las capas, líquida y gaseosa, de la Tierra se producen torbellinos por el encuentro de corrientes de diferente dirección o por el cambio brusco de las condiciones de circulación en una misma corriente. Según esto, las manchas solares serían el efecto de torbellinos producidos en la fotosfera solar, a través de cuyo vórtice se vería la masa interior, menos brillante

por estar más fría, y que por efecto de contraste aparecerá oscura.

Sin embargo, todo esto no son más que hipótesis más o menos racionales para intentar explicar unos fenómenos cuya génesis permanece inasequible por hoy a la inteligencia humana. Pero si nos es imposible por ahora descifrar tan impenetrables misterios, podemos tratar de determinar sus efectos en las condiciones físicas de nuestro planeta.

Se ha observado que en los períodos de máxima actividad solar la energía radiada es un 3 ó un 5 por 100 superior a la normal, siendo, en cambio, la temperatura media en el ecuador y zonas tropicales, según Köppen, en estas épocas, 0,5° más baja que

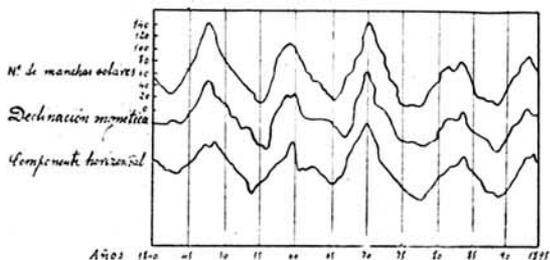


Figura 3.- Influencia de las manchas solares en el magnetismo terrestre.

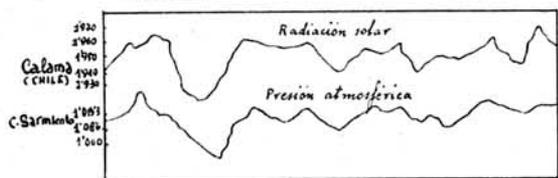


Figura 4.- Relación entre la intensidad solar y la presión atmosférica.

la normal, y superior a ella en las zonas árticas. Esto representa una aparente contradicción; sin embargo, puede explicarse, según Blandford, suponiendo que al aumentar la radiación solar aumenta el movimiento ascensional del aire sobre la zona ecuatorial, y por tanto la nubosidad, con lo que se impide un aumento progresivo de temperatura; como consecuencia de este movimiento ascendente se produce un aumento de actividad en la circulación general atmosférica, con el consiguiente intercambio de calor entre las zonas cálidas y las polares; éstas aumentarán de temperatura a la vez por esta causa y por la mayor radiación solar que reciben.

Pero Blandford, al parecer, considera la circulación atmosférica terrestre como formando un circuito continuo entre los polos y el ecuador, cuando en realidad el ecuador no intercambia directamente masas de aire con los polos, ya que las masas aéreas arrastradas hacia el Norte por el contraliso, se desvían progresivamente hacia el Este a causa de la rotación terrestre, y al enfriarse descienden hacia la latitud de 30° aproximadamente, dando lugar a la zona de altas presiones subtropicales y cerrando el circuito iniciado por el alisio. Asimismo el circuito polar también está limitado durante la mayor parte del año a latitudes superiores a los 70°. En la figura 2 puede verse un esquema de la circulación general atmosférica, según las últimas teorías.

Sin embargo, ello no obsta para que este aumento de circulación ecuatorial en las épocas de máxima actividad produzca un descenso de temperatura en las zonas ecuatorial y tropical, de acuerdo con la teoría de Blandford. En las zonas polares, al contrario, se producirá una menor circulación y una elevación de temperatura a consecuencia del aumento de radiación.

Durante las épocas de mínima actividad solar se producirán estos fenómenos en orden inverso: aumento de circulación y enfriamiento en los polos, y menor circulación y calentamiento máximo en el ecuador. Como consecuencia de ello se producirán mayores avances de las masas de aire ártico hacia las zonas templadas durante la estación fría, y también mayores avances de las masas de aire tropical durante la estación cálida, y la experiencia parece comprobar que los veranos e inviernos extremados suelen ser consecutivos.

Veamos ahora el efecto de estos fenómenos en los elementos meteorológicos y físicos en general. Conocido es el período de once años que parece observarse en la cantidad máxima de lluvias anuales, aunque sobre esto no hay uniformidad de opiniones, pues hay que considerar la gran influencia que ejercen en este aspecto las condiciones topográficas en cada región.

Parece haberse demostrado la relación existente entre la cantidad de manchas solares y el magnetismo terrestre; en la figu-

ra 3 puede apreciarse la semejanza de la curva de actividad solar con las correspondientes al ángulo de declinación y a la componente horizontal del campo magnético durante los años 1840 a 1895.

También parece haberse notado cierta correspondencia entre la intensidad de radiación solar y el valor medio de la presión atmosférica, relacionando las observaciones hechas en la estación de Calama (Chile) y la de C. Sarmiento (Argentina), según puede verse en la figura 4.

Por último, se ha observado también una estrecha relación entre los valores de la radiación solar y los de la temperatura media. Clayton ha tratado de demostrar la influencia que la radiación solar ejerce en la temperatura, comparando las observaciones hechas en el Observatorio de Monte Wilson

invertida. Obsérvense las analogías de esta segunda curva con las que representan la variación de temperatura en cada una de dichas estaciones durante el período de junio a septiembre de 1916.

De todo esto se deduce que podría ser un dato de gran utilidad para predecir en líneas generales la evolución del tiempo durante largos periodos, la observación y estudio de las manchas solares como indicios de la marcha de la actividad solar, según la fase de ésta en que se hallen. Pero aun así, habría que vencer bastantes dificultades para llevar a cabo una previsión exacta del tiempo en un largo plazo; y es que la evolución de una masa atmosférica depende no sólo de las situaciones precedentes y de los factores físicos actuales, sino de la disposición y condiciones de las masas aéreas circundantes y de las condiciones topográficas locales que pueden perturbar la normal evolución de aquellos factores.

Refiriéndonos a una comparación gráfica, es como si quisiéramos prever la distribución de la masa de agua procedente de un manantial en lo alto de una colina, sobre la superficie del valle circundante, cuya topografía, así como la configuración de las laderas de la colina, estuviesen sometidas a frecuentes cambios. Aunque conociéramos exactamente el caudal en cada momento y las variaciones que pudiera experimentar, habría que hacer un cálculo distinto para cada situación topográfica, pues las líneas de máxima pendiente cambiarían de posición y de forma con cada movimiento del terreno.

No obstante, sería muy conveniente iniciar una observación sistemática de cuanto a la actividad solar se refiere, procurando descubrir las relaciones existentes entre todos los elementos que intervienen en este complicado problema de la evolución del tiempo. Sólo así podrían llegar a eliminarse, o al menos reducirse notablemente, los factores imprevistos, que hacen a veces tan incierto el trabajo de predicción.

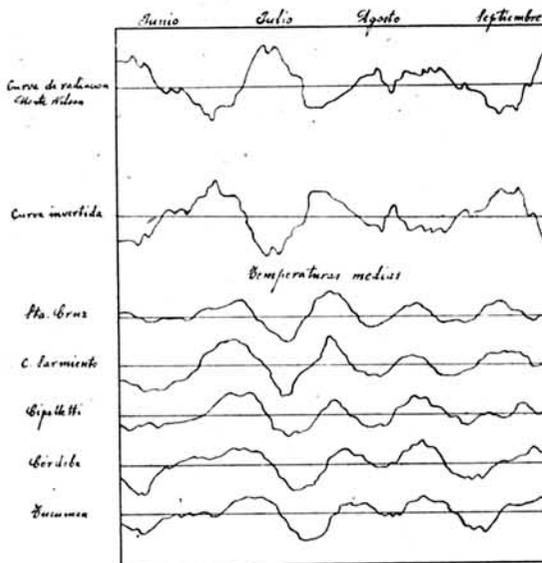


FIG. 5.

(California) con los datos obtenidos en los de Santa Cruz, Col Sarmiento, Cipolletti, Córdoba, Tucumán y otras estaciones de la Argentina y Brasil. En la figura 5 puede verse en primer término la curva de radiación solar, y a continuación, la misma curva