

El Sistema Solar - V

La actividad solar

ALBERT MORRAL

La energía que desprende el Sol y que es alimentada por las reacciones termonucleares del núcleo, es de origen térmico y bastante regular. Sin embargo se producen diferencias de carácter local que se muestran de manera diferente en cada una de las capas, dando lugar a las denominadas *regiones activas*.

Manchas solares

Son la manifestación de las regiones activas en la fotosfera solar, apareciendo como regiones oscuras por tener temperaturas entre 1.500 y 2.000 K inferiores que sus alrededores. Se producen cuando el campo magnético local alcanza los 2.500 o 3.000 gauss (como ejemplo, el campo magnético terrestre es de 0,5 gauss) inhibiendo la convección y dando lugar a una suspensión del aporte energético. (Figura 1).

Las manchas más pequeñas (*poros*), de unos 1.000 km de diámetro, son simples puntos oscuros, mientras que las grandes manchas, que llegan a alcanzar tamaños superiores a los 100.000 km, presentan una zona central oscura, llamada *sombra*, y una perife-

ria de estructura filamentosa (*penumbra*) que es la materialización de las líneas de fuerza del campo magnético.

Las manchas suelen seguir unas pautas de evolución de morfologías sencillas a complicadas, para volver después a más simples de nuevo. Estos procesos se ilustran mediante fotografías de manchas donde se ve como su sombra se multiplica o su penumbra se extiende tomando formas muy irregulares.

Pero solo pocas manchas siguen un ciclo completo de evolución. A menudo un poro o un grupo de ellos se disuelven a las pocas horas de haber nacido. En cambio, también podemos encontrar grupos de poros que se organizan en formación bipolar y que con el paso de las horas y de los días van haciéndose más complejos, con la aparición de penumbras, primero en uno de los focos, y probablemente después en ambos polos magnéticos del grupo. Los grandes grupos de manchas presentan numerosísimas sombras enlazadas por penumbras muy extensas y de formas complejas.

Fáculas y playas

El aumento del campo magnético da como resultado un calentamiento local con un incremento de la luminosidad que cuando se produce en la alta fotosfera se denomina *fáculas* y en la cromosfera *playas*.

Erupciones de materia

En la cromosfera y en la corona, las regiones activas se manifiestan en forma de erupciones de materia que pueden llegar a tener cientos de miles de kilómetros de longitud y altura. Cuando se encuentran en el limbo solar reciben el nombre de *protuberancias* y que cuando se presentan proyectadas sobre el disco, en forma de una línea ondulada oscura, reciben el nombre de *filamentos*.

Las erupciones o fulguraciones solares (en in-

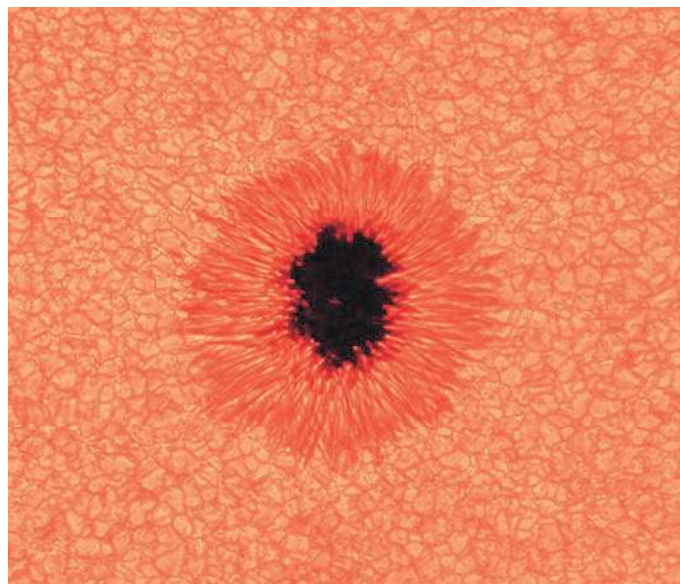


Fig. 1. Mancha y granulación solar.

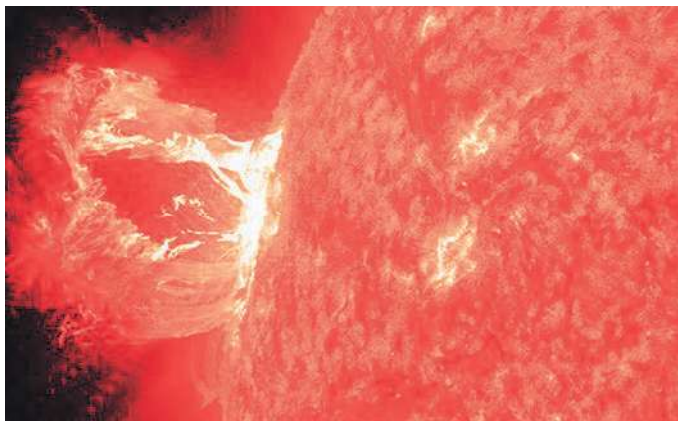


Fig. 2. Eyección de masa coronal.

glés *flares*), son explosiones que tienen lugar en la atmósfera solar, afectando todas sus capas: fotosfera, cromosfera y corona. Las partículas (electrones, protones e iones) son aceleradas casi a la velocidad de la luz. Las erupciones emiten radiación en un gran rango espectral, por lo que a veces se hacen visibles como grandes explosiones de luz blanca alrededor de manchas o zonas activas de la fotosfera. Si una erupción solar es muy energética puede llegar a provocar una eyección de *masa coronal* (CME, en sus siglas en inglés), consistente en la liberación de una gran cantidad de materia acompañada de intensos campos magnéticos y de radiación electromagnética. (Figura 2).

Si la CME llega a la Tierra provoca sobre ésta una tormenta geomagnética que perturba la magnetosfera terrestre, que a su vez puede dar origen a intensas auroras polares.

Las auroras son luces que se producen en la alta atmósfera terrestre (la ionosfera) cuando las partículas cargadas de electricidad procedentes del Sol chocan contra la ionosfera, haciéndola brillar en un efecto de fluorescencia. Las tormentas geomagnéticas más fuertes pueden llegar a interferir las transmisiones de radio y televisión y producir sobrecargas de las líneas eléctricas por efecto de la inducción magnética.

La rotación solar

El Sol gira sobre un eje de rotación inclinado unos 25 grados respecto al plano de la órbita terrestre (plano de la eclíptica). Visto desde la Tierra la velocidad de rotación que presenta el Sol en su ecuador es de 25,6 días terrestres. Pero esta velocidad varía con la latitud con una ley del tipo:

$$\omega = a + b \sin^2 \phi$$

donde ω es la velocidad angular y ϕ la latitud.

Por lo tanto, la velocidad de rotación disminuye a medida que aumenta la latitud; es lo que se llama *rotación diferencial*. En los polos el período de rotación llega a 33,5 días terrestres. De todos modos, desde la Tierra, que está en traslación alrededor del Sol, la velocidad de rotación ecuatorial aparente es de 28 días.

Por otra parte, gracias a las técnicas de heliosismología, se sabe que en el interior del Sol la velocidad de rotación se homogeneiza con la profundidad. En la zona radiativa la rotación se hace no diferencial.

El magnetismo

Los grupos de manchas solares tienen asociado, generalmente, un campo magnético bipolar. Así, uno de los dos focos principales del grupo presenta una cierta polaridad magnética, y el otro, la polaridad inversa. El sentido de la polaridad de todos los grupos situados en un mismo hemisferio solar es el mismo, mientras que es lo contrario en el hemisferio opuesto. Los términos se invierten en los ciclos de actividad undecenal sucesivos.

El efecto dinamo

Relacionado con la rotación y el magnetismo en la superficie solar, se origina el efecto dinamo. Es el efecto por el que un fluido eléctricamente conductor en rotación y convección, como el gas que compone el Sol, genera un campo magnético. Los campos magnéticos locales, en forma de tubo, se retuercen hasta formar flujos magnéticos que cortan perpendicularmente la superficie solar. En estos lugares es donde aparecen las manchas.

El ciclo de la actividad solar

Los grandes grupos de manchas solares son visibles a simple vista sin ayuda de instrumentos ópticos. Es necesario, eso sí, la utilización de algún tipo de filtrado para evitar el deslumbramiento. La absorción atmosférica durante el orto o el ocaso solar, o la presencia de nubes no excesivamente opacas, permitieron la detección de las manchas en la antigüedad. Se cuentan por cientos los registros chinos de manchas entre el año 800 aC y el siglo XII dC. La descripción europea más

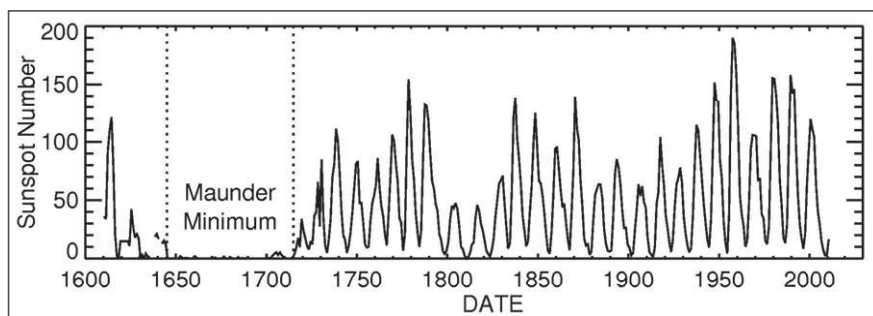


Fig. 3. Actividad solar en forma de número de manchas desde 1610 hasta 2010.

Tabla 1. Periodos

Mínimo de Oort: 1040-1080
Máximo medieval: 1100-1250
Mínimo de Wolf: 1280-1350
Mínimo de Sporer: 1450-1550
Mínimo de Maunder: 1645-1715
Mínimo de Dalton: 1790-1820
Máximo moderno: 1950-presente

antigua data del 807 dC.

A partir del siglo XVII, Kepler, Harriot, Fabricius, Scheiner y Galileo comenzaron la observación con cámaras oscuras o con los primeros telescopios. No fue hasta el siglo XIX cuando las observaciones metódicas de Schwabe pusieron de manifiesto la regularidad en la aparición de las manchas. Finalmente, en 1848, el director del Observatorio de Berna, Wolf, propuso el índice conocido hoy en día por *número de Wolf* para definir el índice de actividad solar, según la fórmula: $A = 10g + f$, donde g es el número de grupos y f el número de manchas individuales.

Tal y como puso de manifiesto el registro de las manchas, su número aumenta y disminuye con una periodicidad de unos 11 años de media. (Figura 3).

De todos modos, este periodo puede presentar grandes variaciones, tanto en frecuencia (8 a 15 años) como en amplitud. El ciclo undecenal no es ni mucho menos regular. De un ciclo a otro puede haber gran-

des diferencias tanto en duración como en amplitud. Aparte, se tiene constancia de periodos más o menos largos de ausencia casi total de manchas. El más conocido es el *Mínimo de Maunder* entre los años 1645 y 1715. En la tabla 1 se recogen los principales periodos de actividad solar de los últimos mil años.

Parece bastante cierto que existe una correlación entre la actividad solar (número de manchas) y el clima terrestre. Así, durante los mínimos la temperatura terrestre tiende a enfriarse, como durante la Pequeña Edad Glacial, entre 1350 y 1850. En cambio, durante el máximo medieval las temperaturas se caracterizaron por su suavidad.

La distribución de las manchas sobre el disco solar también sigue una pauta. Por regla general, las primeras manchas de un ciclo aparecen en latitudes altas, mientras que las últimas lo hacen cerca del ecuador. Es normal que se vean aparecer manchas de ciclos consecutivos en las épocas de mínimo: las correspondientes al ciclo «viejo» cerca del ecuador, y las del ciclo «nuevo» en latitudes altas. Esta distribución de la latitud de las manchas en función del tiempo da lugar al diagrama en forma de mariposa descubierto por Spörer en la segunda mitad del siglo XIX. (Figura 4).

Irradiancia

La energía total que desprende el Sol a lo largo del ciclo undecenal también varía. Contrariamente a lo que podría parecer, cuanto mayor es el número de manchas, mayor es el flujo total de energía del Sol.

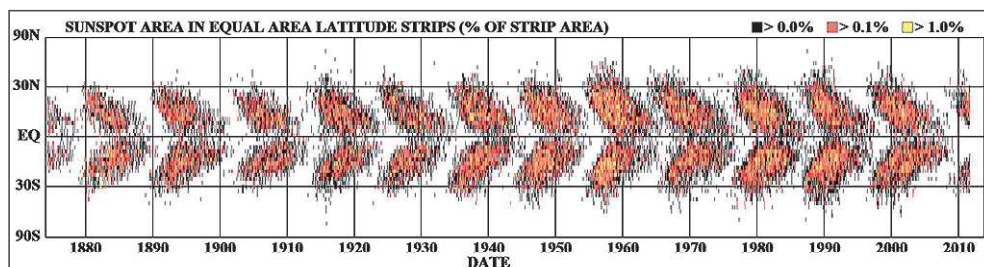


Fig. 4. Diagrama «mariposa» según el tiempo y la latitud de las manchas.