

Manchas solares

INTRODUCCIÓN

En mayo del año 2004 varios profesores de esta Facultad estuvimos preparando el montaje para la observación del tránsito de Venus (que ocurriría el 8 de junio de 2004)¹. Para ello realizamos algunas observaciones preliminares del Sol, que iba a ser uno de los dos protagonistas del tránsito. En estas observaciones se podían claramente apreciar una serie de manchas más oscuras que el resto de la superficie solar (Figura 1).

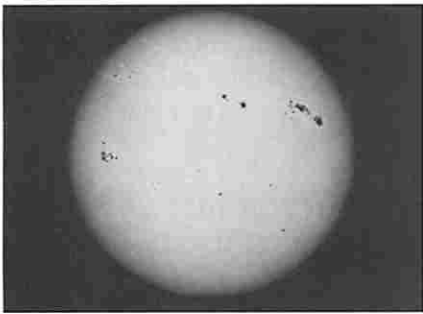


Figura 1. Imagen del Sol. Sobre la superficie solar se aprecian conjuntos de manchas solares.

Estas manchas ya fueron observadas hace por lo menos dos mil años por los chinos, que lo hacían a través de jade o cristal ahumado²; en el año 28 a. C. el astrónomo chino Liu Hsiang registró haber observado pequeñas manchas oscuras en la superficie del sol.

En Europa el descubrimiento de estas manchas llegó con la invención del telescopio. Así que tanto el astrónomo inglés Thomas Harriot como los alemanes Christopher Scheiner y Fabricius, y también Galileo, las observaron sobre la superficie solar. Galileo empezó a estudiarlas por su cuenta (Figura 2), estas observaciones generaron uno de los primeros conflictos con la iglesia de su época, ya que los hallazgos no convencían plenamente a los Jesuitas del *Collegio Romano*, que pensaban que se debían a gru-

pos de planetas y no a un fenómeno intrínseco del Sol, a lo que Galileo alegó que muchas manchas tenían forma irregular y que había visto cambios en las formas, así como su aparición y desaparición, por lo que no podían ser planetas. Esto le valió un triunfo en este debate.

A partir de entonces existen registros esporádicos de manchas solares realizados por astrónomos de distintas épocas, donde también se contabilizad el número de manchas sobre la superficie solar. En 1826, uno de estos astrónomos, Samuel Schwabe, quería descubrir un planeta más cercano al Sol que Mercurio. Por esta razón, registraba las posiciones de las manchas para poder descartarlas y proseguir su búsqueda sin preocuparse por estas distracciones. Sin embargo, al revisar sus registros después de doce años, se dio cuenta de que las manchas solares podrían tener algún interés por sí mismas al sospechar que el número total de manchas en el Sol variaba cada diez años. Continuó llevando el conteo de manchas unos años más, y en 1843 publicó su hallazgo. Este trabajo pasó desapercibido unos años, hasta que en 1851 Ale-

xander von Humboldt publicó los datos de Schwabe junto con datos



Figura 2. Dibujo de manchas solares realizado por Galileo, que aparece en su obra *Sidereus Nuncius* (mensajero de los astros).

recabados por él mismo. Un año más tarde, el astrónomo suizo Johann Wolf recopiló todos los registros históricos que pudo y estableció la duración del ciclo en poco más de once años. Más interesante fue su descubrimiento, junto con el in-

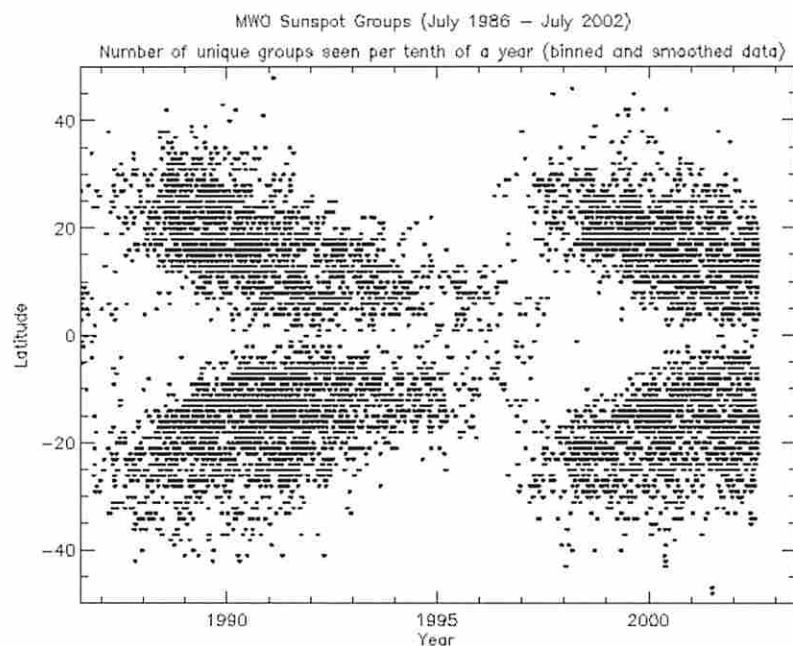


Figura 3. Gráfico de Maunder de los últimos años. Se aprecia la estructura de alas de mariposa.

¹ La actividad realizada, con relación al tránsito de Venus, está descrita en el n.º 7 de esta revista.

² No se debe olvidar lo peligroso que puede resultar mirar al Sol directamente, sin la protección adecuada.

glés Edward Sabine y el escocés John Lamont, de que el ciclo de once años está relacionado con cambios en el campo magnético de la Tierra y con fenómenos tales como las auroras boreales. Ahora sabemos que muchos de los fenómenos relacionados con la actividad solar varían con el mismo periodo. Wolf llegó a ser Director del Observatorio de Zürich, el cual ha llevado un registro diario de las manchas solares desde 1848 hasta la fecha, por esta razón el número de manchas solares frecuentemente se denomina “número de Wolf” o “número de Zürich”.

En 1904, E. Walter Maunder dibujó, mes a mes, la latitud de cada mancha solar. Encontró que la gráfica obtenida era del tipo que aparece en la Figura 3, similar a una mariposa, por lo que se denomina “diagrama de la mariposa de Maunder”. Este diagrama muestra que al comienzo de un ciclo, las nuevas manchas se forman cerca de la latitud 30° . A medida que el ciclo avanza, se forman nuevas manchas cada vez más cerca del ecuador. Al final del ciclo, justo antes de que el número de manchas alcance su mínimo, pueden aparecer manchas del ciclo antiguo en el ecuador a la vez que las primeras manchas de un nuevo ciclo surgen en latitudes más altas.

CARACTERÍSTICAS DE LAS MANCHAS SOLARES

Tienen dimensiones y formas muy distintas ($2 \cdot 10^3 - 10^5$ km). Una mancha aparece, se desarrolla y deja de observarse en un tiempo que puede variar entre unas horas y varios meses. Puede distinguirse en ellas una parte más oscura, la umbra, situada en el interior de una región llamada penumbra, gris y con forma irregular (Figura 4).

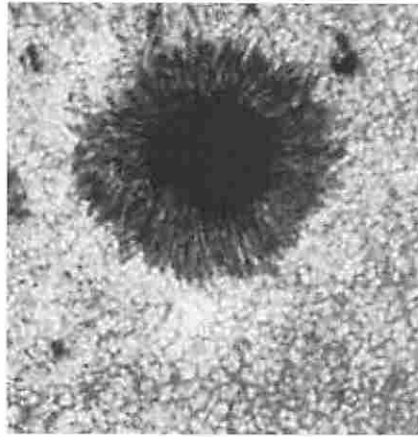


Figura 4. Mancha solar. Se observa la zona más oscura, umbra, rodeada de una zona más clara, la penumbra. Se puede apreciar la granulación existente en la fotosfera, debida a la transmisión de energía de manera convectiva.

El estudio del espectro de las manchas revela que son regiones “frías”³ con temperaturas entre 1500 – 2000 K inferiores a la temperatura de la fotosfera (la temperatura de la fotosfera es del orden de 6000 K). En ellas la materia está animada de movimiento y atravesada por las líneas de fuerza de un campo magnético. Los campos magnéticos en el Sol se miden usando métodos espectroscópicos, gracias al efecto Zeemann, que da lugar a la descomposición de ciertas líneas espectrales en 2 ó 3 componentes, desplazadas proporcionalmente a la intensidad del mismo. Se ha comprobado que en estas líneas de fuerza el campo magnético es vertical, de polaridad uniforme para cada mancha, y hay tantas manchas de polaridad negativa como de polaridad positiva.

Las manchas se desplazan sobre el disco solar, cambiando su número, forma y dimensiones. El estudio de este movimiento, debido a la rotación diferencial del Sol, permite determinar la velocidad y posición del eje de rotación. La man-

cha guía, que es la que precede al grupo, tiene una polaridad determinada (+ ó -) y la última la polaridad inversa (- ó +). Las manchas guía de un hemisferio tienen todas la misma polaridad. En general, las manchas están asociadas a las denominadas fáculas, zonas cuyo brillo supera en un 10% aproximadamente al del disco y son más calientes que la fotosfera. El conjunto mancha-fácúla constituye una manifestación de que existen campos magnéticos.

Las manchas no se distribuyen al azar en el disco. Cuando comienza el ciclo de actividad aparecen en latitudes elevadas, después comienzan a descender para situarse en el momento máximo entre 30° y 10° de latitud, y al final del ciclo en las proximidades del ecuador solar.

FORMACIÓN DE LAS MANCHAS SOLARES

La existencia en el Sol de una zona convectiva⁴, situada hacia el interior inmediatamente después de la fotosfera, donde la circulación constituye el principal mecanismo de transporte, es esencial para interpretar los fenómenos ligados a la actividad. Las variaciones de la velocidad de rotación, con la latitud en la superficie y con la profundidad, son debidas a la interacción entre la convección y la rotación diferencial. Esta última junto con los movimientos de los campos magnéticos generan las manchas solares.

El campo magnético solar es más importante en las capas más altas de la atmósfera. Se genera debajo de la atmósfera, dentro de la enorme masa de gas en rotación de 2×10^{30} kg, a medida que se mueven los electrones y los protones crean una corriente eléctrica que induce un

³ Aquí el término frío es relativo, ya que se usa con relación a la temperatura del material que rodea la mancha, que es mayor. Si pudiéramos arrancar una mancha solar de la superficie del Sol y ponerla en el espacio, parecería brillante sobre el oscuro cielo, nos daría más luz que la luna llena.

⁴ Mecanismos de transmisión de energía: La energía se puede transmitir por tres métodos diferentes: Radiación, convección y conducción. La convección es la transmisión de energía en un líquido o gas por la transferencia real de fluido de alta temperatura desde una región de temperatura más elevada a otra de temperatura más baja. Las estrellas tienen zonas de convección en las que este proceso es muy importante, estas zonas se encuentran justo debajo de la superficie de las estrellas.

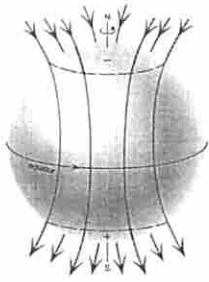


Figura 5. Campo magnético poloidal.

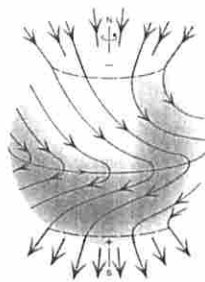


Figura 6. Influencia de la rotación diferencial en las líneas de campo magnético, transformación a campo toroidal.

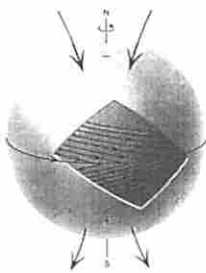


Figura 7. Líneas de campo magnético en la zona de convección.

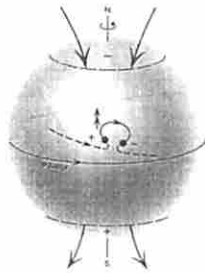


Figura 8. Formación de manchas solares, al emerger los tubos magnéticos.

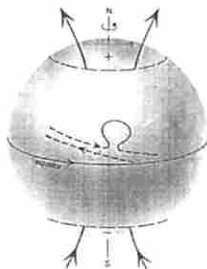


Figura 9. Cambio de polaridad en el campo magnético solar, al cabo de un ciclo de 11 años.

campo magnético, que es poloidal (Figura 5). El Sol se comporta como una dinamo gigantesca.

El periodo de rotación solar es 27 días (periodo sinódico medido desde la Tierra), pero las regiones ecuatoriales rotan más deprisa que las otras: 26 días frente a 31 en una región con latitud de 60°, por lo que la rotación es diferencial. Aunque una bola sólida como la Tierra gira a una velocidad igual en todas las latitudes, una bola gaseosa como el Sol puede rotar de manera diferencial. Los periodos de rotación se miden observando la aparición y reaparición de los sucesos superficiales (manchas, prominencias) bajo la ro-

tación o midiendo el desplazamiento Doppler de las líneas espectrales en el limbo solar.

La rotación diferencial transforma el campo magnético poloidal débil (de polo a polo) en un campo magnético toroidal fuerte (paralelo al ecuador) (Figura 6). La rápida rotación ecuatorial retuerce las líneas de campo alrededor unas de otras, como cuerdas, del mismo modo que una fuerte cuerda se puede obtener de retorcer hilos finos juntos, en la zona convectiva los campos magnéticos tienden a concentrarse en tubos (Figura 7). Donde el campo magnético es fuerte la presión magnética también lo es, y como la densidad

es menor, asumiendo que hay equilibrio en las regiones vecinas, aparecen fuerzas emergentes que pueden superar el peso de la estructura, por lo que los tubos magnéticos son expulsados hacia el exterior (Figura 8). Cuando el tubo magnético alcanza la fotosfera y surge por encima de ella, aparecen dos zonas donde la convección queda inhibida. En estas zonas el gas se enfría y por ello presenta un aspecto más oscuro, eso es una mancha solar.

La dinamo solar tiene cambios periódicos, el campo toroidal se termina transformando a su vez en uno poloidal de orientación inversa al de partida (Figura 9), al cabo de 11 años aproximadamente (hay periodos entre 9 y 12,5 años), lo que da lugar a que el ciclo solar completo sea de 22 años hasta llegar a la configuración original, lo que se revela de la observación paciente de las manchas.

En la actualidad nos estamos acercando a un mínimo de actividad, que se alcanzará entre los años 2006 y 2007, como se puede observar en la Figura 10.

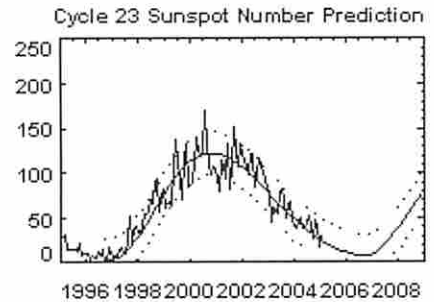


Figura 10. Número de manchas solares en la actualidad. Se aprecia la similitud con la predicción teórica.

BIBLIOGRAFÍA

Jay M. Pasachoff, Marc L. Kutner, *University Astronomy*, Saunders Golden Sunburst Series (1978).
 Jean Audouze, Guy Israel, *The Cambridge Atlas of Astronomy*, Cambridge University Press (1994).

Amalia Williart Torres
 Dpto. de Física de los Materiales