

# Manchas Solares

Francisco Américo Mejía\*

## Breve historia

El estudio de la Astronomía se remonta a épocas muy remotas, fue de primordial importancia en las primeras sociedades agrarias, ya que determinar las estaciones, es decir, cuando llueve, cuando es seco, etc, era determinante para las siembras; por esos motivos el Sol fue el principal Dios en muchos de los panteones de las culturas antiguas (egipcia, peruana, maya, etc.). Al observar al Sol se pudo ver a simple vista, cuando las condiciones lo permitían (grandes incendios, erupciones volcánicas, tormentas de polvo) que presentaba manchas. La referencia escrita más antigua se encuentra en Teofrasto alrededor del 325 a.c. haciendo referencia de que "las manchas oscuras en el Sol son indicadores de lluvia".

Recordemos que Aristóteles había dicho que el Sol era perfecto e inmaculado, por ello, cuando los árabes vieron manchas en el Sol las interpretaron como tránsitos de Mercurio y Venus. Los reportes de Europa se remontan al año 807, Einhard las consideró como un portento en su obra sobre Carlo Magno. Kepler también pensó que había observado el tránsito de Mercurio, cuando detectó una mancha solar en 1607. La ilustración más antigua de una mancha solar la encontramos en una crónica de John de Worcester, quien muestra dos manchas solares observadas en 1128 d.c. Dos siglos más tarde, cuando el cielo se oscureció por un incendio en Rusia, los historiadores reportaron "hay manchas oscuras en el Sol como si le hubiesen metido clavos".

La invención del telescopio en 1608 abrió la posibilidad de observaciones astronómicas detalladas. Galileo construye su telescopio en 1609 y con él observa la Luna y la Vía Láctea, luego descubre los satélites de Júpiter. En mayo de 1612 anuncia que ha estado observando manchas en el Sol por 18 meses (es decir desde 1610). El Sol estaba activo en ese tiempo: Galileo fue el primero en ver manchas solares con el telescopio, pero fue seguido rápidamente por otros. Thomas Harriot en Inglaterra fue el primero en registrar sus observaciones, aunque su manuscrito y sus ilustraciones fueron hechos en 1610, permanecieron ocultos en el castillo Alnwick hasta 1786. El crédito por la primera publicación fue para Johann Fabricius. En su libro "Un conteo de las manchas observadas en el Sol y su aparente rotación con el Sol",

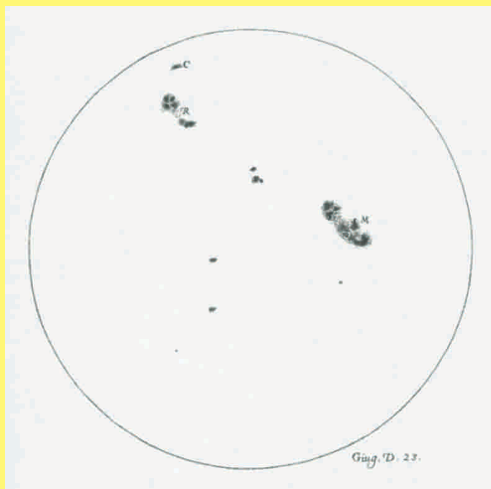
\* Francisco Américo Mejía, es el jefe de Física Teórica de la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador.

publicado en Wittenberg en junio de 1611, en el cual describe como él y su padre vieron varias manchas en marzo de 1611, primero a través de un telescopio y luego usando una cámara oscura. Ellos siguieron las manchas en la medida que se movían por el disco solar y reconocieron que reaparecían de nuevo, notando que se reducían en la orilla, Fabricius concluyó que éstas yacían en la superficie rotante del Sol.

Unos días antes de la primera observación de Fabricius, Christoph Scheiner, un profesor jesuita de Ingolstadt en Bavaria, había observado también, unas manchas solares a través de una atmósfera llena de humo, hizo observaciones sistemáticas durante los últimos meses de 1611, pero fue persuadido de publicar bajo un pseudónimo, en la forma de cartas dirigidas a Mark Welser, un rico patricio de Augsburgo.

En esas cartas, Scheiner aseguraba que las manchas oscuras eran causadas por pequeños cuerpos que orbitan alrededor del Sol y bloquean la luz; así evitaba cualquier contradicción con las nociones aristotélicas del Sol perfecto. Welser reenvió estas cartas, publicándolas al inicio de 1612, a Galileo en Florencia, buscando sus comentarios.

Esto impulsó a Galileo a hacer sus propias observaciones sistemáticas; él también reconoció que las manchas se reducían en la medida que se acercaban a la orilla y rápidamente concluyó que estaban en la superficie del Sol. Galileo hizo una serie de observaciones prolongadas en el verano de 1612, usando la técnica de proyección desarrollada por su colega Benedetto Castelli. Galileo describió sus descubrimientos en tres cartas, dirigidas a Welser escritas en italiano; fueron publicadas en 1613, como "Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari" por la Academia de los Lincei en Roma.



*Ilustración de Galileo de las manchas solares*

Sus nuevas observaciones confirmaban que las manchas rotaban con el Sol. Observó que las manchas permanecían cerca del ecuador solar, "en una angosta zona del globo solar, en el espacio de la esfera celeste que corresponde a los trópicos". También Galileo se dio cuenta que las manchas son oscuras sólo en el sentido relativo, ya que ellas son tan brillantes como la Luna. También descubrió que existen partes brillantes cerca de las manchas (faculae). Después de mencionar sus descubrimientos de los satélites de Júpiter y las fases de Venus, concluyó la validez de las teorías heliocéntricas de Copérnico.

Posteriormente surgió una disputa entre Galileo y Scheiner (que se había trasladado al Colegio Jesuita de Roma en 1624) sobre la primicia en el descubrimiento de las manchas solares. Scheiner observó meticulosamente las manchas solares de 1625 a 1627, proyectando la imagen del telescopio en una pantalla. Para esta época había descartado algunas de las enseñanzas de Aristóteles y había llegado a aceptar que las manchas solares estaban en la superficie y rotaban con el Sol. De su movimiento aparente dedujo que el eje de rotación del Sol no estaba perpendicular al plano de la eclíptica sino que estaba inclinado  $7 \frac{1}{2}$  grados respecto a la normal. En 1630 publicó sus resultados en un volumen de lujo titulado "Rosa Ursina sive Sol" y lo dedicó a la familia Orsini cuyo emblema era una rosa.

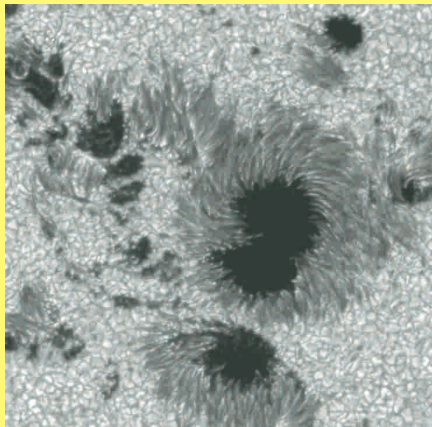
Las primeras ilustraciones de Galileo y Scheiner mostraron ya las manchas con un centro oscuro y con un anillo gris rodeándolas (Scheiner confusamente llamó umbra al centro oscuro, ya que continuaba sosteniendo una cosmovisión geocéntrica, en la variante de Tycho).

Galileo en su "Dialogo sopra i Due Massimi Sistemi del Mondo", ignoró los descubrimientos de Kepler, pero presentó el movimiento de las manchas solares como argumento a favor del sistema heliocéntrico. Galileo se dio cuenta que en dos ocasiones en el año, separadas por 6 meses, cuando la línea de visión al Sol era perpendicular al plano y el eje de rotación era perpendicular a la eclíptica, en esas circunstancias las manchas solares se moverían en línea recta en la medida que el Sol rotara. Entre estas dos situaciones, la trayectoria sería convexa, apuntando alternativamente hacia arriba o hacia abajo. Scheiner (geocéntrico) tenía que agregar un movimiento adicional de precesión del Sol con periodo de un año para explicarlo (que no parecía posible). La disputa con Scheiner y Grassi, ambos profesores del Colegio Jesuita, contribuyó a que Galileo fuera llevado ante la Inquisición.



## II. Las manchas solares hoy

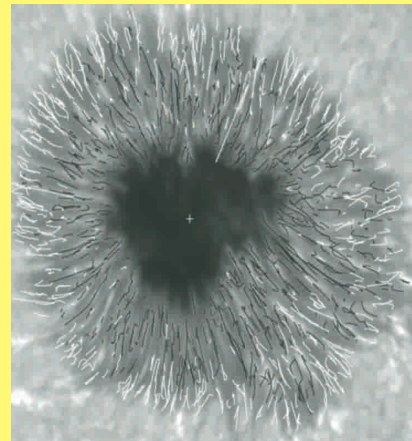
Las manchas solares se han observado a través del telescopio por 400 años, tal como lo reportaron Galileo, Scheiner y Hevelius, quienes fueron capaces de distinguir entre un núcleo central oscuro (umbra) y un anillo gris (penumbra) que la rodea. La estructura de filamentos de la penumbra se reconoció hasta dos siglos después y fue hasta 1908 que se reconoció que las manchas son lugares de altos campos magnéticos (kilo gauss). Cuarenta años más tarde, por medio de la magnetohidrodinámica se ha establecido que las manchas solares parecen oscuras porque el transporte normal convectivo se inhibe por los fuertes campos magnéticos. Sin embargo, ha sido en los últimos diez años que ha sido posible observar la estructura fina del campo magnético penumbral, con telescopios que son capaces de resolver un segundo de arco en la superficie solar.



*Manchas solares y poros*

Algunas manchas solares son notablemente circulares y eje simétricas (las favoritas de los teóricos), mientras que otras tienen forma irregular con quizá sólo penumbra parcial. Hay otras pequeñas características oscuras llamadas poros que son umbras desnudas o manchas sin penumbras.

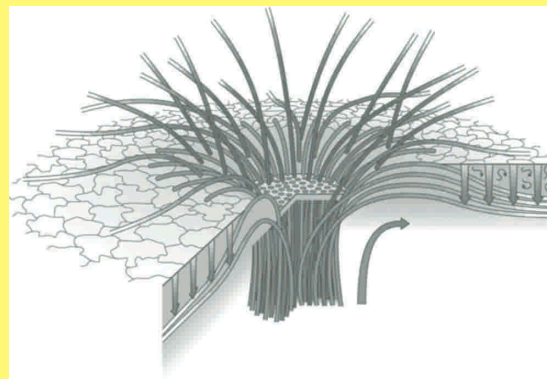
La característica más llamativa de una mancha solar es su oscuridad relativa a la fotosfera que la rodea. En un sentido absoluto, una mancha solar no es oscura; en verdad, si fuera colocada sola en el espacio, a la misma distancia de nosotros que el Sol, brillaría tanto como una Luna llena, un hecho que fue comprendido por Galileo. Una mancha solar parece oscura en el disco solar porque es relativamente menos caliente que sus alrededores, y sabemos que la temperatura se reduce debido al efecto inhibitor del intenso campo magnético en la mancha solar sobre el transporte vertical convectivo del calor, justo debajo de la superficie solar.



*Mancha solar y estructura penumbral.*

Las manchas solares se encuentran en un amplio rango de tamaños. Las más grandes tienen diámetros de 60 mil km y aún más y son visibles a simple vista. En el otro extremo de la escala están los poros, que tienen diámetros típicos en el rango entre 1500 a 3500 km pero pueden ser tan pequeños como un gránulo (aproximadamente 700 km). En verdad, los poros más grandes, son más grandes que las más pequeñas de las manchas solares.

Dentro de una mancha solar hay muchas estructuras finas que se hacen evidentes con una mayor resolución y tiempos de exposición adecuados. La penumbra muestra un patrón de características con filamentos radiales elongados brillantes y oscuros (filamentos penumbrales), mientras que la oscura umbra contiene un número de pequeños elementos brillantes, llamados puntos de umbra. Esta estructura fina en la intensidad de la luz emergente de una mancha, es una consecuencia del patrón de convección térmica, tal como es influenciada por el campo magnético de la mancha (magneto-convección).



*Modelo teórico de una mancha solar.*

Una mancha solar marca una parte de la superficie solar a través de la cual un paquete cerrado y compacto de flujo magnético casi vertical (tubo de flujo magnético) emerge del interior del Sol. La intensidad del campo magnético en el centro de una mancha solar es, típicamente, cerca de 2800 G (ó 0.28 T) y puede ser tan intenso como 35 mil Gauss y aún más.

El campo magnético ejerce una fuerza sobre el plasma solar, que consiste en general, de una fuerza de tensión a lo largo de las líneas de fuerza y de una presión anisotrópica.

Además de manchas oscuras y poros, se han localizado partes con exceso de brillantez en la superficie solar, conocidas como fáculas, que son también sitios de fuertes campos magnéticos emergentes. Hay otras varias manifestaciones visibles del campo magnético solar, incluyendo emisión aumentada de las capas superiores de la atmosfera solar y eventos transitorios como las llamaradas (flares), las oleadas (surges) y los destellos (bursts) de radio. Estos fenómenos, conocidos colectivamente como actividad solar magnética (o simplemente actividad solar), no están distribuidos uniformemente a través de la superficie solar, por el contrario, está concentrada en regiones activas conteniendo una o varias manchas solares, poros y fáculas. La figura 5, muestra imágenes de disco completo en emisiones de Ca II (de la cromosfera) y emisión de rayos X (de la corona), en la que las regiones activas son claramente identificables.

La actividad solar tampoco está distribuida uniformemente en el tiempo: varía de una manera casi cíclica con un periodo de 11 años. Este comportamiento se lee directamente en el registro del número de manchas solares que aparecen en el disco solar, como muestra la figura 6.

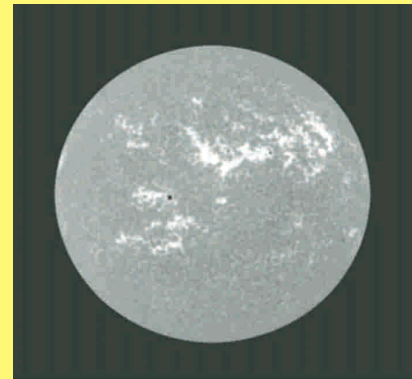


Fig. 5. Regiones activas. Arriba emisiones en la cromosfera, abajo emisiones de rayos X coronarios.

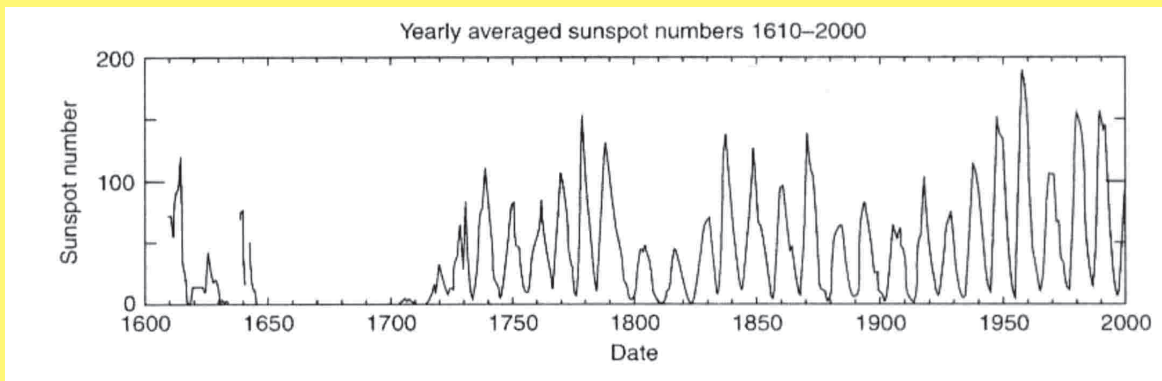
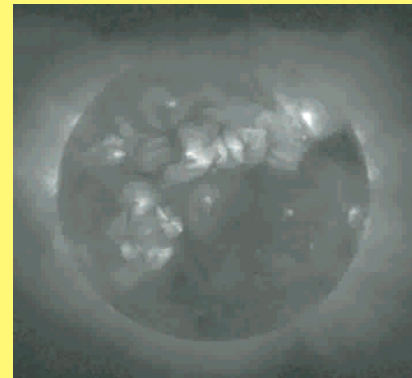


Fig. 6. Actividad solar cíclica de 1610 al 2000, mostrada por el número de manchas.

Allí uno puede ver un ciclo un tanto irregular en el número de manchas, con un periodo promedio entre un máximo cada 11 años y un valor de largo término de modulación de este ciclo. De interés particular es el periodo entre 1645 y 1715 durante el cual hubo muy pocas manchas solares (llamado Mínimo de Maunder).

El ciclo de las manchas solares es de 11 años, pero los arreglos de la polaridad magnética se revierten en cada ciclo sucesivo, indicando un ciclo magnético con un periodo de 22 años. Se entiende generalmente que el campo magnético solar y su comportamiento cíclico es generado por un dínamo de fluido actuando en el interior del Sol, a través de la interacción entre la rotación diferencial interna del Sol y la convección turbulenta.

(Basado en el libro *Sunspot and stellar spots* de John H. Thomas & Nigel O. Weiss)