

LAS MANCHAS Y EL CICLO SOLAR

Moreno F. Coordinador CEAf

*El sol, con todos los planetas que
rotan a su alrededor y dependen de él,
sigue haciendo madurar los racimos
de uvas como si no tuviese
otra cosa que hacer en el universo*

Galileo Galilei

RESUMEN

En el volumen 2 del Astrolabio del año 2000¹ se publicó el artículo titulado Los ciclos del Sol en el cual se enumeraron los diversos fenómenos observados en nuestra estrella. Veíamos cómo las manchas solares eran el indicio visual de los cambios en actividad manifestada por este astro, sin embargo son más evidentes si los observamos en otras zonas del espectro, (figura 1). Un aumento en su número es síntoma del incremento en la actividad solar. Buscar la explicación a este fenómeno ha hecho que se lleve un registro exacto desde el siglo XIX, pero su observación se viene haciendo en forma continua desde siglo XVIII.

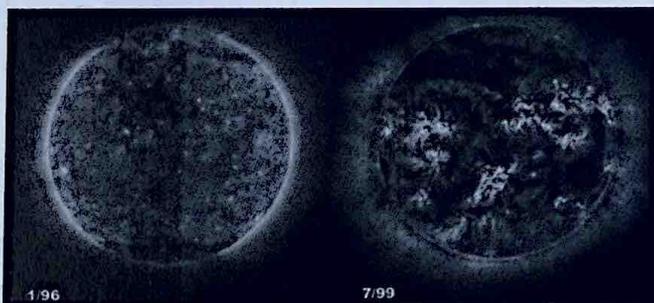


Figura 1. Imágenes del Sol en ultravioleta tomadas por el satélite SOHO en enero de 1996 y en julio de 1999.

Las manchas solares son áreas oscuras de forma irregular en la superficie del Sol. Su naturaleza cíclica a corto y largo plazo se ha establecido en el último siglo, en ellas se observan dos zonas: la umbra, zona más oscura e interna, y la penumbra, anillo exterior de brillo intermedio, entre la umbra y la fotosfera. Presentan múltiples formas, algunas carecen total o parcialmente

de penumbra. Rara vez aparecen aisladas y tienden a formar grupos, su diámetro puede variar entre 20.000 y 50.000 kilómetros, varias veces el tamaño de la tierra. La fotosfera o superficie exterior del Sol tiene una temperatura de 5500 °C, en la umbra es de unos 4000 °C, la razón actualmente aceptada para tal déficit energético se debe a la presencia de campos magnéticos muy intensos del orden de 3000 gauss, lo que reduce notablemente el mecanismo de transporte de energía por debajo de la fotosfera. Estos campos son a su vez responsables últimos de toda una variedad de estructuras y fenómenos que constituyen lo que se ha llamado la actividad solar.

Las manchas son en ocasiones bastante grandes y pueden ser vistas con el ojo desnudo, siempre y cuando se garanticen condiciones de seguridad ya que la observación directa del Sol en un cielo despejado es peligrosa, pero es factible cuando el Sol está cerca del horizonte, siendo cubierto por un velo delgado de nubes o llovizna. El tamaño de nuestra estrella vista desde la Tierra es de unos 31 minutos de arco, para poder ver una mancha debe tener como mínimo un poco más de un minuto de arco, lo que corresponde a unos 50.000 kms. La aparición de las manchas de mayor tamaño está relacionada con el período en el cual tenemos el máximo número de manchas.

Las manchas solares han sido observadas desde la antigüedad, es posible que el filósofo griego Anaxágoras hubiese visto una mancha en 467 a.C.² Los archivos de observaciones a simple vista en China se remontan a por lo menos al 28 a.C. La escasez de registros en occidente pudo estar influenciada por la idea que los cielos eran perfectos e inmutables según la cosmología Aristotélica dominante.

El Observatorio de La Montaña Púrpura en China, ha recopilado una serie de anotaciones hechas desde la época de Cristo que obviamente no eran científicas pero que van a servir para reconstruir la historia del ciclo solar. La más antigua parece describir un fenómeno meteorológico, pero las siguientes son muy claras frente a este fenómeno³ :

5 de mayo del año 42 a.C. “El Sol era de un azul blanquecino en color y no dejaba sombras. A la derecha de su centro había frecuentemente sombras sin brillo. Aquel verano fue frío hasta el noveno mes, en que el Sol recuperó su brillo.”⁴

20 de Octubre del año 301 d.C. “Conforme a los pronósticos de Jing Fang’s Yi Zhuan; las manchas solares aparecen cuando los oficiales del gobierno no logran impedir que el emperador tome un camino equivocado y permiten conocer que esto sea conocido por el pueblo”⁴.

10 de enero del año 375 d.C. “Dentro del Sol había una mancha negra tan grande como un huevo de gallina: por entonces el emperador había alcanzado ya la edad adulta, pero la emperatriz K’an-Xian continuaba llevando los asuntos del estado. Esto estaba en contra del código Feudal y por consiguiente los hechos se reflejaron en el Sol”⁴.

19 de diciembre de 1370 d.C. “Con respecto al próximo sacrificio anual al cielo y debido a las frecuentes manchas negras que se ven en el Sol, su majestad ha publicado un edicto...”². Esta observación fue confirmada con otra encontrada recientemente en Inglaterra en una de las anotaciones de la Crónica de John de Worcester y otra en la Crónica Oficial del Reino de Koryo, hoy Corea, donde se refiere a la aparición de auroras boreales sobre la ciudad de Kaesong, cinco días después de la anotación inglesa⁵.

El primer registro moderno de una observación de este fenómeno viene de Johannes Kepler quien en 1607, queriendo observar el tránsito de Mercurio, es decir el paso del planeta por frente al Sol, hizo una proyección con cámara oscura, haciendo un pequeño agujero en el techo de su casa. Kepler observó una mancha negra que él interpretó como Mercurio. Si hubiera seguido en sus observaciones al siguiente día, habría visto otra vez la mancha y se hubiera percatado que era un fenómeno solar, ya que el planeta rara vez atraviesa el disco solar y lo hace en unas pocas horas.

Las observaciones a través de telescopio ocurrieron poco tiempo después y fueron realizadas por Galileo

Galilei y Thomas Harriot, alrededor de 1610. Johannes Fabricius y Christoph Scheiner las observaron en marzo de 1611, siendo Fabricius, el primero en publicar sobre el tema en su libro, *De Maculis in Solo Observatis* (Las Manchas Observadas en el Sol) que apareció por el otoño de 1611: Scheiner, matemático jesuita de la Universidad de Ingolstadt, prefirió defender la perfección del Sol y los cielos y por consiguiente propuso que las manchas solares eran satélites de este, sin embargo dudó cuando las observó cerca de su borde. Scheiner fue el primero en ver a través de un telescopio equipado con lentes coloreados durante las observaciones solares, precaución que desechó Galileo y que contribuyó a su ceguera.

Castelli, protegido de Galileo, desarrolló el método de proyectar la imagen del Sol a través del telescopio, una técnica que hizo posible estudiar en detalle incluso cuando el Sol está alto en el cielo. Galileo le escribió su primera carta a Welser, un político local, en la que defendía el hecho que las manchas estaban en la superficie del Sol o en su atmósfera, aunque él no podía demostrarlo con toda seguridad.

Scheiner publicó gráficos en los que mostraba el movimiento de las manchas solares en un período de 13 días desde el borde (limbo) este hasta el oeste (figura 2). Esto nos dio una idea del período de rotación del Sol, que en el ecuador es de 27 días. Ellas aparecen y desaparecen, algunas mueren horas después de haber nacido, mientras que otras pueden durar unas semanas. Unas pocas pueden persistir hasta tres períodos de rotación.

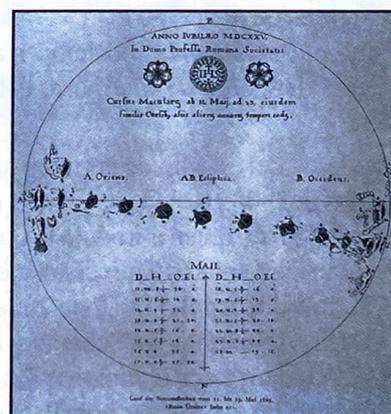


Figura 2. Observaciones solares realizadas por Scheiner durante trece días en 1611.

En 1667 se construyó el observatorio de Paris y entre los trabajos a desarrollar estaba la observación solar, que fue encomendada a J. Picard, y a P. La Hire, durante dicho período. La ausencia de manchas fue notable y coincidió con una época de bajas temperaturas en Europa a la que se le ha llamado “la pequeña edad de

hielo". Como referencia podemos decir que en este lapso aparecieron más de 50 manchas, cuando en la actualidad para igual período podemos ver de 40.00 a 50.000 manchas sobre el disco solar. El número incrementó a través de los años hasta que en 1725 alcanzó los niveles actuales. A este período se le ha llamado el mínimo de Maunder.

Solo hasta 1779 una mancha fue visible a simple vista y llamó la atención del astrónomo y músico alemán William Herschel, quien trató de explicar el fenómeno diciendo que el cuerpo del Sol estaba frío. Herschel, pensaba que las manchas eran agujeros en las capas de nubes brillantes a través de las cuales un fondo oscuro era visible.

El mejor observador fue el alemán Samuel Schwabe (1789-1875) astrónomo aficionado, quien por 24 años consecutivos había seguido el fenómeno con una persistencia inigualable, mereciendo la medalla de oro de la Sociedad Astronómica Real de Londres. Schwabe descubrió, que cada diez años el número de manchas era tan alto que prácticamente no había días sin ellas.

El astrónomo aficionado inglés Christopher Carrington, descubrió que el Sol no rota como un cuerpo sólido. A una mancha solar cerca al ecuador le toma entre 25 a 26 días en dar una vuelta, mientras que una, a 30 grados de latitud, gasta 27 días. Para un punto situado a 80 grados le toma más de 30 días en hacer un giro. También descubrió que la posición en que aparecen las manchas depende de lo desarrollado que esté el ciclo solar. Al iniciarse la manchas tienden a aparecer en latitudes medias cercanas a los 35 grados de latitud norte o sur. Durante el máximo se ven dentro de los 15 grados norte o sur. El gráfico que representa estas posiciones a lo largo del ciclo se le llama diagrama de Mariposa, debido a las formas obtenidas.

En la era moderna del estudio de las manchas solares empezó a mediados de 1800 en el Observatorio de Berna, su director era, Rudolf Wolf, quien introdujo lo que él llamó el «Número de manchas solares Universal», como una estimación de la actividad del Sol. Este investigador, motivado por el descubrimiento de Schwabe, de los 10 años de periodicidad clara para el ciclo de las manchas solares, buscó desarrollar un índice por el que podrían supervisarse las tendencias a largo plazo de su periodicidad verificando su estudio. Se dice que Wolf habría preferido calcular las áreas cubiertas por las manchas solares en lugar de su número pero los métodos y equipos de la época no eran adecuados para esta tarea. Como una alternativa, desarrolló un índice basado en el número de manchas y grupos de manchas (racimos de manchas relacionadas). Trabajando con un polarizador y un telescopio refractor

de 8 cm, a f/14 y 64x y reconociendo que los grupos de manchas están más estrechamente relacionadas a la medida del área deseada, que las manchas individuales, escogió dar más peso a los grupos que las manchas individuales en su índice⁶.

También escogió excluir en sus observaciones diarias esas manchas pequeñas y poros que sólo eran visibles bajo las condiciones de la visibilidad excelentes. La forma final del índice de Wolf, R, propuesto en 1848, asigna un peso de 10 a cada racimo de manchas relacionadas (g) y el valor de la unidad a cada mancha individual⁵:

$$R = (10g + f)$$

por lo tanto, si tenemos, durante un día en el que pueden identificarse 7 grupos, junto con 33 manchas individuales, el número del Wolf, $R = ((10 \times 7) + 33) = 103$. El lector debe notar que la ecuación del número de Wolf contiene un vacío entre el cero y once. El valor mínimo es, por supuesto, cero si ninguna mancha se encuentra que satisfaga el criterio contando. Pero dado una mancha, el próximo posible valor es 11, el resultado de asignar 10 al grupo y 1 a la mancha.

En el transcurso del tiempo, más observatorios se alistaron en la tarea de luchar contra las condiciones de visibilidad adversas compartiendo información. Una importante modificación se hizo a lo que ha llegado a ser llamado el "número de las manchas solares relativo", se revocó la decisión de Wolf de no incluir en su cuenta diaria, las manchas pequeñas y grupos de poros que sólo eran visibles bajo excelentes condiciones. La nueva convención les exigió a los observadores que contaran todos los grupos y todas de las manchas visibles. Dadas estas modificaciones en la formulación original, ¿cómo pudiera entonces crear y mantener un registro que era continuo con las observaciones de Wolf? Una solución a este problema fue encontrada comparando los resultados obtenidos por Wolfer durante 16 años de observaciones llevados a cabo en paralelo con Wolf e introduciendo un coeficiente, k, en el índice del Wolf, que tomaba un valor de 1.0 para las observaciones de Wolf, y de 0.6 para las observaciones de Wolfer, lo que pondría el índice en aproximadamente la misma balanza, así manteniendo la continuidad deseada. Este valor de k es ahora llamado el "Coeficiente de Zurich reducido", y el índice resultante se identifica como R_z ⁵.

$$R_z = k(10g + f)$$

Para el ejemplo dado tenemos como resultado aproximando

$$R_z = 0.6 ((10 \times 7) + 33) = 62$$

Es de anotar que los dos índices reflejan una incompatibilidad básica entre las dos modelos y hacer conversiones directas de números de las manchas solares relativos de un índice al otro y es sumamente difícil, particularmente cuando el número de manchas es muy bajo.

En 1980 la responsabilidad formal para la valoración de actividad de las manchas solares quedó centrada en del Observatorio Real en Bruselas, Bélgica. El Centro de Datos de Índice de Manchas solares (SIDC) está localizado ahora en este sitio y genera un periódico de publicación mensual, los informes anuales, así como las predicciones a futuro de la actividad de manchas solares a mediano plazo. Cada día se genera una gráfica en la cual se clasifican y numeran los grupos y las manchas. El número de observadores que contribuyen a los funcionamientos de SIDC ha crecido substancialmente desde la transición de Zurich y ahora incluye una mezcla de aficionados y observadores profesionales que se distribuyen en más de 40 estaciones individuales.

Relación entre la actividad solar y el clima terrestre

No deja de ser interesante hacer una conexión entre el ciclo de la actividad solar y su posible incidencia en el clima de nuestro planeta. Como hemos dicho el incremento en la actividad solar es identificable por el aumento en el número de manchas. Maunder en 1894 señaló que el final del siglo XVII se había caracterizado por la ausencia de manchas en la superficie solar. En 1975 el astrónomo Jack Eddy descubrió que en dicho en período también ocurrió un avance de los glaciares y una baja en la temperatura en ciudades como Londres y Paris, la ya nombrada pequeña edad del hielo. Otros investigadores han sugerido relaciones entre el número de manchas y el nivel de los lagos, sin que se haya demostrado claramente tal conexión.

Se conocen numerosas piezas que hacen parte del rompecabezas de la relación Sol-Tierra tales como: la irradiancia solar, la temperatura del océano, la circulación atmosférica, etc. La irradiancia solar es la cantidad de energía recibida en el borde externo de la atmósfera por unidad de área y de tiempo³. El valor de la irradiancia en los últimos años ha variado entre 1367 y 1368.5 wattios/m², aunque no siempre ha sido así. Actualmente la cantidad total de energía radiada por el Sol no cambia lo bastante para alterar la temperatura de la Tierra significativamente, y otros posibles factores, como los efectos de los rayos ultravioleta en la concentración de ozono, o la influencia de rayos cósmicos en formación de la nubes, son difíciles de estimar.

Ya que las variaciones de irradiancia y actividad solar están ligadas, se ha considerado que puede tener una base científica clara. Algunos autores han encontrado buena correlación entre esta variable y la temperatura media de los océanos, sin embargo la disponibilidad de datos es muy escasa aún. Pero se han encontrado datos que relacionan esta variable con el nivel de los ríos Missisipi y el Yang-tse³.

Otra conexión que resulta interesante es la de la variación de la irradiancia y las precipitaciones la cual puede explicarse por la existencia de un mecanismo de retroalimentación con las siguientes fases³:

- Aumento de la irradiancia solar
- Absorción de energía por las capas superficiales de los océanos.
- Transporte de calor por las corrientes oceánicas
- Aumento de la evaporación
- Aumento de las precipitaciones

Durante bastante tiempo los trabajos que intentaban buscar una relación entre un número de manchas y el clima terrestre se basaban en registros térmicos que no eran representativos de la temperatura global del planeta, es así como los primeros estudios mostraban una relación inversa entre esta variables. Los estudios modernos muestran lo contrario es decir períodos más fríos durante el mínimo del ciclo³.

Así pues el interés por el estudio del número de manchas solares está más que justificado. El progresivo avance de la tecnología permitió el estudio de las zonas brillantes, también llamadas fáculas. La evolución temporal de las manchas y de las fáculas, da como resultado cambios en la irradiancia En la actualidad la astrofísica solar no solamente abarca el campo visible sino que se hace en todo el espectro electromagnético ya que este astro emite en todas las frecuencias.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Los ciclos del Sol*, Moreno F, García E, *El Astrolabio, Gimnasio Campestre, volumen 2*, febrero 2000, páginas 66-69.
2. *La Historia del Sol y el Cambio Climático*, Manuel Vázquez A. *Mc Graw Hill*, páginas 157-187,45-290.
3. *Dances With Wolf's: A Short History of Sunspot Indices*, Carl Feehrer, *AVVSO*, august 2000, páginas 1-4.
4. *Ancient Sunspot Observations in China and Solar Variability*, Z.T.Xu, *Advance Series in Astrophysics and Cosmology-Volume 2*, *World Scientific, Philadelphia PA*, 1985, páginas 202-214.
5. *Discovering the Secrets of the Sun*, Rudolf Kippenhahn, *John Wiley and Sons Ltd, West Sussex*,1994, páginas 13-29.
6. *Astronomía Solar en el Medioevo*, *Canalciencia: <http://www.100cia.com> junio 16 de 2001.*