

Seguimiento de la actividad Solar. Número de Wolf

Por

Dr. **Miquel Serra-Ricart**. Astrónomo del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Sr. **Juan Carlos Casado**. Astrofotógrafo tierrayestrellas.com, Barcelona.

Sr. **Miguel Ángel Pío Jiménez**. Astrónomo del Instituto de Astrofísica de Canarias.**1 – Objetivos de la actividad**

El seguimiento de la actividad solar a través de la observación continuada de su superficie supone un interesante proyecto que permitirá aplicar el método científico.

Los objetivos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

- Aplicar una metodología para el cálculo de un parámetro astrofísico (índice de Wolf) a partir de un observable (imágenes digitales) como técnica de aplicaciones pedagógicas, documentales e investigadoras. Aplicar conocimientos de Física solar y Estadística básicos.
- Conocer y aplicar técnicas de análisis básico de imágenes (conteo de focos activos, orientación, escala,...).
- Trabajar cooperativamente en equipo, valorando las aportaciones individuales y manifestando actitudes democráticas.

2 – Instrumentación

La práctica o actividad se realizará a partir de imágenes digitales de la fotosfera solar obtenidas con un Telescopio. Desde el proyecto europeo GLORIA ponemos a disposición de la

sociedad un telescopio solar (ver **ref3-3**). También es posible usar otros telescopios terrestres como los del proyecto GONG (**ref3-2**) o incluso imágenes tomadas desde el espacio (**ref3-1**).

3 – Fenómeno

El Sol, por su cercanía, constituye la estrella que se puede estudiar con más detalle y en la cual se pueden verificar teorías sobre el comportamiento y la evolución estelar.

3.1.- El Sol

El Sol forma parte del conjunto de 200.000 millones de estrellas de la Vía Láctea, pero para nosotros es la más importante ya que sólo se halla a una distancia media de 150 millones de kilómetros de la Tierra y constituye el principal aporte de energía para nuestro planeta.

Con un diámetro de 1.392.000 Km –el de la Tierra de 12.756 km en el ecuador-, contiene el 98,6% de toda la masa del Sistema Solar.

La edad del Sol se estima entre unos 4.500 a 5.000 millones de años. Atraviesa la etapa intermedia de su vida en la llamada **secuencia principal**, una situación estable gracias al equilibrio entre las reacciones termonucleares que ocurren en el interior de las estrellas, que sirven para transformar hidrógeno en helio, y la gravedad, que tiende a aplastarlas. Se espera que el Sol continúe así otros 5.000 millones de años más.

El sol posee varias capas bien diferenciadas, que se pueden dividir en interior y exterior respecto a la superficie o fotosfera (figura 1):**Interior**

Lo constituyen capas que no son observables directamente. La fotosfera, un estrato de unos 300 km de grosor puede considerarse como la zona de separación entre el interior y la atmósfera solar.

El núcleo. Es la región central del Sol, con una temperatura de unos 15 millones grados. Aquí se produce la energía de la estrella, de modo que en cada segundo 564 millones de toneladas de hidrógeno se fusionan, termonuclearmente, en 560 millones de toneladas de helio. Los núcleos de hidrógeno (protones) se convierten en núcleos de helio a razón de cuatro a uno; sin embargo, hay una diferencia de masas que se libera en forma de energía, dado que los cuatro protones son ligeramente más pesados que el núcleo de helio formado. Esta diferencia se debe a los cuatro millones de toneladas por segundo que resultan sobrantes al transformarse el hidrógeno en helio.

La zona radiativa. La primera parte del transporte de energía generada en el núcleo se realiza a través de una capa que lo envuelve, por medio de radiación muy energética que es continuamente absorbida y reemitida.

La zona convectiva. El Sol posee varias capas por encima de la radiativa en la que la energía se traslada a la superficie o fotosfera mediante fenómenos de convección. El resultado de estas corrientes convectivas se puede ver en la fotosfera en forma de granulación. Toda la fotosfera está surcada de una trama celular parecida, por su geometría, a granos de arroz. Estas células son la parte superior de cada una de las columnas de corrientes ascendentes –calientes- y descendentes – más frías- del transporte energético. Las dimensiones de esta granulación son considerables: cada “grano” mide unos 800 Km. de diámetro (ver figura 6b).

La fotosfera. Es la superficie solar visible directamente (con la protección adecuada), con una temperatura aproximada de unos 6.000° C. En ella pueden verse fenómenos como las manchas solares, que trataremos posteriormente y mediante las cuales es posible medir la actividad solar (figura 2).

El Sol presenta un campo magnético global con una intensidad media el doble que el de la Tierra. Pero en las cercanías de

las manchas la intensidad del campo magnético local es mucho más intensa.

En general se piensa que todos los fenómenos de la actividad solar están determinados por procesos relacionados con el campo magnético solar.

ExteriorA partir de la fotosfera los fotones pueden atravesar estas capas y dispersarse en el espacio, por lo que estas zonas resultan observables.

La cromosfera. Es una capa rojiza que envuelve a la fotosfera, de unos 10.000 Km. de grosor. En ella se proyectan gases a muy altas temperaturas y sobresalen las **protuberancias** (figura 3), especie de llamaradas que son lanzadas al espacio a enormes velocidades y que pueden alcanzar varios cientos de miles de kilómetros de altitud. Tanto la cromosfera como las protuberancias pueden verse directamente en los momentos de la totalidad de un eclipse total de Sol. En condiciones normales es necesario el uso de dispositivos o filtrajes especiales para su observación.

Corona. Por encima de la cromosfera está la **corona**, una especie de aureola con una estructura que sigue las líneas de fuerza del campo magnético solar. Está compuesta por gases a una temperatura de más de 1 millón de grados pero de densidad muy baja, de modo que generan poca luz y calor. Sus límites son imprecisos, hasta el punto de que puede considerarse que la Tierra se halla inmersa en sus regiones más externas donde, además de los gases, figuran abundantes partículas de polvo. La corona solar resulta visible a simple vista durante la fase de totalidad de un eclipse solar total (figura 4).

3.2.- La actividad solar

La actividad solar se manifiesta en las tres capas observables del Sol: la fotosfera, la cromosfera y la corona. Esta actividad se propaga hasta la Tierra en forma de radiación y de partículas (el llamado **viento solar**).

La fotosfera es la capa visible que resulta más fácilmente observable. La manifestación más característica de la actividad solar son las manchas solares que aparecen sobre la superficie del Sol. Aunque las manchas solares ya habían sido detectadas a simple vista varios siglos antes de nuestra era, no fueron conocidas y registradas sistemáticamente como tales hasta la invención del telescopio astronómico (año 1610). Los primeros observadores pronto se percibieron de que no eran inmutables, sino que tenían una duración y un tamaño variable.

El naturalista alemán Heinrich Schwabe descubrió en 1843 que las manchas parecían presentar un período de unos 10 años, lo que fue confirmado en 1855 por Rudolph Wolf quien halló una periodicidad de 11 años, conocido por **ciclo undecenal** solar.

En 1859 el inglés Richard Carrington descubrió que el Sol poseía una rotación diferencial, de manera que gira más rápidamente en el ecuador que en los polos. También halló que la latitud media de las manchas varía con el tiempo. Al principio del ciclo de actividad las manchas aparecen cerca de las latitudes de 30° para, a medida que progresa el ciclo, formarse cada vez más próximas al ecuador, localizándose en el máximo cerca de los 10° de latitud. En realidad el ciclo solar tiene el doble de duración, unos 22 años, ya que cada 11 años tiene lugar una inversión de los polos magnéticos solares y 22 años es el tiempo que transcurre para que el Sol retorne a su configuración original. Todos los ciclos no son iguales, sino que su duración e intensidad varían. El registro más corto para un ciclo individual fue de 7 años y el más largo de 17. También ha habido excepciones al ciclo, como el detectado por E.W. Maunder en 1893, en el que mostraba que durante 70 años, entre 1645 y 1715 las manchas solares prácticamente desaparecieron (en su honor conocido como "mínimo de Maunder"). Estudios realizados apuntan a la existencia de otros mínimos semejantes al de Maunder en épocas más antiguas. Investigaciones geológicas prueban que hace millones de años ya existía el período undecenal solar, de manera que en una

larga escala de tiempo el ciclo undecenal es un fenómeno solar permanente, aunque existen muchos indicios que su intensidad puede variar ampliamente.

Los ciclos de actividad solar se numeran desde el máximo de 1761. Actualmente (2011) nos encontramos en el ciclo no 24, esperando que se alcance el máximo en el año 2013 (figura 5). Asimismo ciertas estrellas variables (tipo BY Draconis y RS Canum Venaticorum) parecen mostrar una actividad como la solar pero a una escala mucho mayor.

4 – Metodología

4.1.- Sistemas de observación de la fotosfera

La observación solar requiere unas medidas de seguridad que deben extremarse. Por ello solo indicamos los métodos de observación más seguros.

Filtros solares. Deben utilizarse filtros para colocar en la abertura del telescopio especialmente diseñados para esta finalidad. Los hay de hojas flexibles metalizadas, que se pueden adaptar a diferentes medidas o de vidrio con montura para diferentes diámetros. En general resulta el método más recomendable.

Los filtros que se colocan en el ocular directamente deben desecharse por su peligrosidad, debido al riesgo de rotura por la concentración del calor solar.

Proyección. Preferiblemente a utilizar con telescopios de tipo refractor. Consiste en proyectar la imagen solar (sin filtro) sobre una superficie blanca perpendicular al eje óptico del telescopio. Es conveniente crear un entorno oscuro alrededor de la pantalla de proyección para aumentar el contraste de la imagen y visualizar mejor las estructuras. Este método permite la observación simultánea a varias personas.

Helioscopio (prisma de Herschel). Recomendado para telescopio

refractores. Consiste en un prisma óptico que se coloca en el portaocular, desviando el 95% de la luz incidente. Es necesario asimismo utilizar un filtro absorbente (densidad 3).

Otro métodos. Existen otras alternativas, como emplear telescopios reflectores con el espejo primario sin aluminizar (o ambos espejos, también el secundario). Será necesario un filtro denso en el portaocular, pero ya sin peligro de rotura. Este telescopio quedará inservible para otras observaciones astronómicas.

4.2.- Formaciones fotosféricas

Al observar la fotosfera podemos captar una serie de detalles y formaciones características (figura 6a): **Oscurecimiento del limbo.** El centro del sol resulta más brillante que los bordes. Este fenómeno es consecuencia de la absorción de una parte de la luz por la propia atmósfera solar.

Granulación. Como se ha mencionado, la fotosfera está formada por un tramado de células que hacen que la superficie solar parezca rugosa (figura 6b). Estos "granos" son corrientes convectivas producidas en capas inferiores con una duración de pocos minutos. **Manchas.** Son zonas más oscuras que la fotosfera debido a su menor temperatura (unos 2000° inferior) y son trazadores de la actividad magnética del sol. Típicamente una mancha solar consta de una región central oscura denominada **umbra**, rodeada por una zona más clara o **penumbra**, consistente en filamentos claros y oscuros que parten de forma radial de la umbra. En promedio el diámetro de la penumbra suele ser unas dos veces y media mayor que el de la sombra, pero en grupos muy desarrollados puede llegar a representar hasta el 80% del total de la extensión de la mancha. Si la mancha es de reducidas dimensiones no posee penumbra y en tal caso se denomina **poro**.

Fácúlas. Pueden verse cerca del limbo, como zonas más brillantes que el resto de la superficie solar. Están

asociadas a las manchas y tienen una duración mayor que éstas; suelen aparecer antes de la mancha y desaparecen después. Se pueden ver tanto en los máximos como en los mínimos de los ciclos y constituyen un buen indicador de actividad electromagnética ya que suelen derivar en manchas la mayoría de las veces.

4.3.- Registro de la actividad de manchas solares

En primer lugar, tenemos que recomendar que la observación del sol directa es peligrosa y debe realizarse siguiendo algún tipo de método seguro (ver **ref7**).

Las manchas salen por el este del disco solar y se ponen por el oeste. Aparecen confinadas entre las latitudes 5° y 40° (norte o sur). El tiempo de vida de las manchas solares pueden variar de unos días a unas semanas. El aparente desplazamiento de las manchas por el disco es debido a la rotación del sol, aunque algunas pueden mostrar pequeños movimientos propios. Una mancha nunca cruza el ecuador solar, siempre se encuentra en uno de los dos hemisferios, norte o sur. Para determinar la correcta orientación del disco solar se deben conocer tres parámetros o coordenadas heliográficas (figura 8). Las coordenadas heliográficas pueden calcularse para una fecha y hora determinadas en la dirección de la **ref9.P**. El ángulo de posición del extremo Norte del eje de rotación medido desde el punto Norte del disco, positivo hacia el Este y negativo hacia el Oeste. P varía entre $\pm 26,3^{\circ}$.

B_0 . La latitud heliográfica del punto central del disco solar. Es debido a la inclinación de la eclíptica respecto del plano ecuatorial solar. Varía entre $\pm 7,23^{\circ}$.

L_0 . La longitud heliográfica del punto central del disco. El valor de la longitud se determina mediante un sistema fijo de longitudes con una variación de $13,2^{\circ}/\text{día}$. El meridiano inicial se define como el meridiano que pasó por el nodo ascendente del ecuador solar el 1 de junio de 1854 a las 12:00

UTC, siendo calculado para la fecha presente asumiendo una rotación uniforme sidérea de 25,38 días (período de rotación sinódica o rotación de Carrington de 27,2753 días).

Para calcular las coordenadas de una mancha o un detalle, se mide su posición sobre el disco aparente y posteriormente se realizan las debidas correcciones según las coordenadas heliográficas del instante de observación.

4.3.2.- El número de Wolf

El astrónomo suizo Rudolph Wolf introdujo en 1848 un método de registro de la actividad solar a partir del recuento del número de manchas solares visibles, conocido como número o índice de Wolf o de Zurich (o mundialmente como International Sunspot Number).

Aunque cualitativo (existen otros métodos para complementar o sustituir el índice de Wolf, como calcular la extensión de las manchas o la clasificación de McIntosh, **ref8**) tiene la virtud de que el propio Wolf lo extendió hasta las primeras observaciones telescópicas de Galileo y se ha mantenido ininterrumpidamente hasta nuestros días, con lo que actualmente se poseen registros de la actividad solar de los últimos 400 años.

Antes de calcular la actividad solar por el número de Wolf es necesario conocer unas definiciones para realizar una correcta obtención del índice de actividad.

Grupos de manchas: Conjunto de manchas (con penumbra) y poros, o de poros individuales, próximos entre sí y que evolucionan de forma conjunta. Para su cálculo se utilizará la clasificación de Zürich (ver apartado 4.).

Focos (spots): Se llaman focos tanto a las manchas como a los poros individuales. Por ejemplo, si dentro de una mancha se distinguen 2 umbras tendremos 2 focos.

Grupo unipolar: Una mancha o un grupo compacto de manchas con una distancia máxima entre los extremos que no exceda 3º heliográficos.

Grupo bipolar: Dos manchas o un grupo de varias manchas extendiéndose en dirección este-oeste una distancia mayor de 3º heliográficos.

El *número de Wolf* (*W* ó *R* por Relative sunspot number) se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$R = k (10 G + s)$$

k es un factor de corrección estadístico que lo aplica el centro internacional que coordina y reduce las observaciones (**ref5**) y tiene en cuenta las condiciones atmosféricas de la observación y el tipo de instrumento utilizado en la observación (telescopio, prismáticos,...) y normalmente es menor que 1. Para la actividad podemos trabajar con *k*=1.

G representa el número de grupos visibles. Un poro aislado cuenta como foco y como grupo.

s es el número total de focos de todas las manchas (spots), tal como se ha explicado más arriba.

La actividad mínima o número de Wolf es 0 (en caso de estar completamente limpia la superficie solar), pasando a continuación a 11 porque un único grupo en el disco solar con un único foco sería *G*=1, *s*=1, por tanto, *R*=11. A partir de 11, puede seguir los valores consecutivos de los números naturales (12, 13, 14,...). De forma aproximada podemos obtener el número de manchas individuales en la superficie solar si dividimos el número de Wolf o sunspot number por 15. En las Figuras 10 y 11 presentamos ejemplos del cálculo del número de Wolf.

4.3.3.- Clasificación de Zürich

El recuento del número de grupos para calcular el número de Wolf se basa en la clasificación de Zürich de las manchas

solares.

Las manchas suelen aparecer en grupos. Idealmente un grupo consiste en dos manchas de polaridad magnética opuesta, extendidas en el sentido de los paralelos, con múltiples manchitas y poros en la parte intermedia. Siguiendo la clasificación de Zürich, una mancha bien desarrollada pasa por todos los tipos: A, B, C, D, E, F, G, H, J, para terminar finalmente en el A, aunque esto sucede únicamente en contadas ocasiones. El tipo F es escaso y normalmente las manchas evolucionan pasando del tipo E al G. Muchos grupos sólo llegan a desarrollarse hasta el tipo D y la mayoría se quedan en los estados A, B y C.

La duración de un grupo puede ser de unas pocas horas para un poro, a varios meses para los grupos más evolucionados. El afloramiento y posterior desarrollo puede ser muy rápido, pasando de los tipos A, B, C, D, E hasta llegar al F en una semana o 10 días, en tanto que el declive (tipos G, H y J) puede ser considerablemente más largo. Así no es raro ver persistir una mancha del tipo H o J durante un par de rotaciones solares.

La clasificación de Zürich (figura 9) se basa en la polaridad magnética, en la existencia o no de penumbra (en este último caso si se halla presente en uno o en ambos extremos), así como en la extensión del grupo en grados de longitud heliográfica.

Mediante la obtención de imágenes se puede determinar el área y posición de las manchas solares y calcular el índice de actividad solar. Es recomendable también la estadística del número de manchas en cada hemisferio solar. **Dificultades**. Puede darse el caso de dificultades en determinar entre dos tipos de grupos totalmente diferentes, por ejemplo, un tipo C con tipo H. Observando la evolución del grupo se podrá averiguar su clasificación. No obstante no afectaría al cálculo del número de Wolf.

En ocasiones las diferencias de un tipo a otro (D y E, E y F, F y G, H y J) únicamente pueden establecerse por la extensión en longitud del grupo, es recomendable utilizar una plantilla que muestre los meridianos y paralelos del Sol para determinar el tamaño de los grupos que puedan resultar conflictivos.

Asimismo puede resultar difícil averiguar si un conjunto de manchas o focos corresponde a un solo grupo o a dos. Para poderlo saber con exactitud deberían medirse sus polaridades magnéticas, pero la experiencia y la observación en días sucesivos ayudarán a su resolución.

5 – Referencias

ref1 – Observatorio Espacial SOHO
(<http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

ref2 – Red de Telescopios GONG (<http://gong.nso.edu/>)

ref3 – Imágenes del Sol (fotosfera) en la red.

1.- Desde el espacio Satélite SOHO

http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/hmi_igr/1024/latest.jpg

2.- Desde una red de Telescopios Terrestres GONG

<http://gong2.nso.edu/dailyimages/>

3.- Imágenes del Sol (fotosfera) a través de un telescopio robótico solar -TAD- (Observatorio del Teide, IAC) del proyecto GLORIA <http://users.gloria-project.eu> (Experimento Solar). Tutorial.

ref4 – Imágenes de Grandes Espectáculos Celestes <http://www.tierrayestrellas.com>

ref5 – Centro de Análisis de Datos de la Influencia Solar (Solar Influences Data Analysis Center -SIDC- , Royal Observatory of Belgium) <http://sidc.oma.be/index.php3>

ref6 – Centro de Predicción del Tiempo Espacial (Space Weather Prediction Center -SWPC- , USA) <http://www.swpc.noaa.gov/>

ref7 – Recomendaciones para la observación directa del Sol
<http://www.iac.es/educa/sol-tierra/aviso.htm>

ref8 – Clasificación de

MacIntosh http://www.astrogea.org/divulgacio/sol_mcintosh.htm
ref9 – Coordenadas Heliográficas
<http://www.astrosurf.com/obsolar/ephemeris.html>