

# Observación Solar

Joan Manuel Bullon i Lahuerta  
M<sup>a</sup> Ángela del Castillo Alarcos



# ***Observación Solar***

***Joan Manuel Bullon i Lahuerta  
M<sup>a</sup> Ángela del Castillo Alarcos***

**Publicaciones de ApEA  
Asociación para la Enseñanza de la Astronomía  
Nº 19 (Secundaria) – Mayo 2010**

## ***Publicaciones de ApEA***

# **Asociación para la Enseñanza de la Astronomía**

Dirección:

Rosa M. Ros (Vocal Editora de Publicaciones de ApEA)

Edición de 2010

Comisión de redacción:

Antonio R. Acedo del Olmo

Ederlinda Viñales

Ricardo Moreno

Simón García

Edita: Antares Producción & Distribución, S.L.

ISBN: 978-84-937604-2-7

## AUTORES



### **Joan Manuel Bullon i Lahuerta**

Observador solar desde 1980. Colaborador de la red heliofísica estatal *Parahelio* de España, de la *Sunspot Index Data Center* de Bélgica y de la red *Sonne* de Alemania. Coordinador de la “Galería Fotográfica Solar” de las revistas *Astronomía* y *Huygens*. Profesor de la Escuela de ciencias Cosmofísica. Director del Observatorio *La Cambra*.



### **Ma Ángela del Castillo Alarcos**

Geógrafa con máster en didáctica de la Física y la Astronomía. Planetarista y fundadora de la Escuela de ciencias Cosmofísica. Directora de la publicación *RIGEL* de la Asociación Valenciana de Astronomía (AVA) y vocal editora de la revista *NADIR* de la ApEA. Investigadora heliofísica.



## Índice

<b>Presentación</b>	<b>7</b>
<b>Objetivos</b>	<b>9</b>
<b>El Sol como modelo estelar</b>	<b>11</b>
<b>Sistemas de observación de la fotosfera</b>	<b>13</b>
Filtros solares	13
Proyección solar	15
Ocular electrónico	17
<b>Formaciones fotosféricas</b>	<b>18</b>
Esfericidad solar	18
Granulación Fotosférica	19
Manchas	19
Fáculas	21
Rotación diferencial	22
<b>Registro de la actividad de las manchas</b>	<b>24</b>
El Número de Wolf	24
Evolución de las manchas	25
Morfología y clasificación de las manchas	26
Tránsito de manchas	28
<b>Observación de la cromosfera</b>	<b>29</b>
Red cromosférica	30
Celdas de supergranulación	30
Playas o "plages"	30
Espículas	32
Manchas	33
Fulguraciones o tormentas solares	33
Regiones activas y áreas oscuras	34
Filamentos y protuberancias	35
<b>Método de observación solar</b>	<b>37</b>
<b>Equipo básico para la observación del Sol</b>	<b>43</b>
<b>Información complementaria</b>	<b>44</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>45</b>



## Presentación

El estudio del SOL, por ser la estrella más cercana a nosotros, ha sido y es para la Astronomía el prototipo con el que se pueden construir y verificar modelos astrofísicos. El estudio de la actividad solar se llama HELIOFÍSICA y mediante una observación diaria de su superficie es posible descubrir importantes informaciones sobre su comportamiento.

Para los alumnos de Astronomía, el estudio del Sol significa un compromiso diario de observación, una pauta continua de investigación que les llevará a conseguir un método científico el cual, lejos de ser una mera obligación, les proporcionará suficiente entusiasmo para conseguir acumular constantemente resultados.

Hoy es posible garantizar un estudio correcto y completo cuyo rigor científico es indudable. Mediante "Internet" es posible corroborar día a día los resultados observacionales así como estrechar una colaboración con Centros Internacionales que coordinan los resultados obtenidos en la investigación mensual.

La actividad solar se define como el conjunto de fenómenos que podemos observar en la fotosfera y en la cromosfera del Sol. De todos ellos, son las manchas solares las manifestaciones de actividad más fáciles para poder estudiar y realizar un buen seguimiento, sin necesidad de grandes dispendios técnicos. En la actualidad es factible y económicamente posible, adquirir instrumentos con filtros de hidrógeno alpha o filtros de calcio que nos permiten observar la granulación, las fulguraciones, los filamentos y las protuberancias. El estudio y análisis de esta actividad es muy importante sobre todo en los últimos tiempos, en que tanto se especula con su influencia sobre la atmósfera terrestre. Además, su observación resulta un ejercicio fácil y apasionante, ya que cada día tanto las manchas como el propio aspecto del Sol, son diferentes. Observar el Sol con seguridad es muy fácil, ya que las técnicas para realizarlo se hallan al alcance de cualquiera. El método más sencillo es la "proyección", pero mediante un "helioscopio o prisma de Herschel" la visión es excelente y también muy segura ya que se utilizan filtros especiales para el Sol. Así pues, mediante un simple telescopio y un CORONADO y sobre todo, con muchas ganas de trabajar, la observación del Sol nos puede proporcionar ese aliciente astronómico de investigación diaria para realizarla con los alumnos, teniendo en cuenta además, que esta actividad se desarrolla en horas lectivas, pudiendo ejercitarse dentro del horario escolar.





## Objetivos

Con esta publicación sobre la investigación de "la actividad solar", se espera impulsar a muchos profesores y alumnos de Astronomía a que tomen las riendas de la observación del Sol, a que se impliquen en un compromiso diario de obtención de datos científicos que a la postre servirá además, como método riguroso de comportamiento, ya que los alumnos aprenderán a implicarse en un compromiso constante (este método de comportamiento es óptimo para sus posteriores relaciones laborales y sociales), y sobre todo a nivel astronómico como un verdadero logro activo y muy fiable, que es el gran apoyo de que sus observaciones diarias y sus resultados estadísticos mensuales servirán para aportar datos a la investigación mundial del estudio heliofísico.

### Para ello se desarrolla

- Un estudio práctico del Sol como modelo estelar.
- Un método de comportamiento para la investigación astronómica diaria.
- Un conjunto de directrices de trabajo tales como observación, orientación, dibujo, catalogación, grabación y fotografía de la actividad registrada.
- Un empleo de material, su aplicación y el registro observacional obtenido llevado a estadísticas y gráficas.
- El conocimiento de una actividad cíclica.
- Un grupo de métodos de observación con artilugios fundamentales para una investigación fiable.
- La obtención de instrumentación mínima necesaria.
- Una colección de plantillas para la catalogación de manchas solares y protuberancias y también para un seguimiento.
- Una colaboración con Centros oficiales Mundiales de Investigación Solar.



## El Sol como modelo estelar

### ¿Qué vamos a investigar? ¿Qué es necesario saber?

La estructura del Sol puede dividirse en dos partes: una atmósfera y una parte interna. La *parte interna* se asume como región de confin de la fotosfera. En el interior, partiendo desde el centro, se encuentra una primera zona (*core* o núcleo, es la región central de una estrella, donde se realizan las reacciones termonucleares) que se extiende hasta unos 150.000 kilómetros, donde tienen lugar las reacciones nucleares de fusión que son la fuente última de la energía que el Sol prodiga en el espacio. Desde el núcleo hasta unos 500.000 kilómetros del centro se extiende la *zona radioactiva*, así llamada porque el transporte de energía hacia el exterior se realiza por medio de la emisión, la absorción y la reemisión de radiaciones de alta energía. Sucesivamente, en la *zona convectiva* el transporte se realiza por medio del intercambio de materia caliente que sube a la fotosfera, reemplazada por otra más fría que baja. La temperatura aproximada del núcleo es de 15 millones de grados centígrados, esta temperatura desciende en la zona convectiva hasta pocos millones de grados, siendo la temperatura a nivel fotosférico de unos 6.000 grados.

La *atmósfera* solar consta de tres estratos, uno es la *fotosfera*, un estrato de 300 kilómetros aproximadamente, a unos 696.000 kilómetros del centro. Puede ser considerada la zona de separación entre el interior y la atmósfera solar, porque a partir de sus estratos más altos la materia solar cesa de ser opaca a la radiación es decir, los fotones que se producen pueden atravesar las partes superiores de la atmósfera, que ahora se ha vuelto transparente a ellos, y dispersarse en el espacio. Encima de la fotosfera se encuentra la *cromosfera*, que se extiende unos 14.000 kilómetros. Más externamente todavía, se desarrolla la *corona* por millones de kilómetros, con forma, estructura y dimensiones que varían en las distintas fases del ciclo de actividad solar. La corona externa se disuelve en el espacio y mantiene significativas densidades de partículas todavía a 15 - 20 millones de kilómetros del centro del Sol.

En la superficie, el Sol presenta un campo magnético de forma bipolar con una intensidad media aproximadamente el doble que el de la Tierra, pero en las proximidades de las manchas el campo es bastante más intenso. En general se cree que todos los fenómenos de actividad solar están determinados por fenomenologías que afectan al campo magnético del Sol. Se piensa que las manchas son producto del afloramiento de líneas magnéticas en forma de lazada que suben a la superficie desde el interior del Sol. Se deduce que son informaciones constantes sobre el campo magnético solar aprovechando el Efecto Zeeman, fenómeno por el que átomos que emiten o absorben fotones en presencia de un fuerte campo magnético, tienen su estructura electrónica modificada de tal forma que dan origen a líneas espectrales desdobladas. Este "efecto" es muy importante porque permite medir, por la entidad de tal desdoblamiento, la intensidad de los "campos magnéticos solares" y a su vez, de ciertas clases de estrellas.

La actividad que se produce en el Sol variará, pues, en número e intensidad como consecuencia de los resultados acontecidos en los campos magnéticos solares. Esta actividad se mide por la emisión de manchas que se observan en la fotosfera solar. En realidad son regiones de la fotosfera de temperatura algo menor que las zonas circundantes, lo suficiente para que parezcan oscuras por contraste, es decir, que ese cambio de temperatura hace que las manchas se observen oscuras. Las *manchas solares* fueron ya observadas por los chinos y por primera vez Galileo Galilei en 1611 las vio a través de una óptica; desde entonces se ha seguido un minucioso control de las mismas.

Así pues, es en la llamada "fotosfera" de la atmósfera solar donde se realiza el estudio de su evolución, pudiendo afirmar que la luz que nos llega del Sol y de las demás estrellas esta producida en su fotosfera.

Tipo de espectro	G2 V	Periodo de rotación sideral	25.38 días
Radio	$6.955 \times 10^{10}$ cm	Periodo sinódico	27.2753 días
Volumen	$1.4122 \times 10^{33}$ cm <sup>3</sup>	Inclinación del ecuador	7° 15'
Área de superficie	$6.087 \times 10^{22}$ cm <sup>2</sup>	Distancia media a la Tierra	$1.495979 \times 10^{13}$ cm
Masa	$1.989 \times 10^{33}$ g	Irradiación solar	1.365-1.369 KW/m <sup>2</sup>
Densidad	1.409 g/cm <sup>3</sup>	Temperatura efectiva	5777 C
Gravedad	$2.740 \times 10^4$ cm/s <sup>2</sup>	Velocidad relativa a estrellas cercanas	19.7 Km/s
Velocidad de escape	$6.177 \times 10^7$ cm/s	Edad	4.5-4.7 x 10 <sup>9</sup> años

Tabla 1: Datos relativos al Sol



Figura 1: Imagen del Sol

## Sistemas de observación de la fotosfera

Nuestra galaxia "La Vía Láctea", está compuesta por infinidad de estrellas, sin embargo, de la única estrella que podemos observar con detalle su bóveda es el Sol por su proximidad, es por ello que cobra especial importancia el estudio del Sol al ser un auténtico modelo estelar a nuestro alcance.

La palabra fotosfera etimológicamente viene del latín y significa "esfera visible": es la capa del Sol que observamos a simple vista cuando la atmósfera terrestre actúa de filtro al amanecer o al ponerse el Sol por el horizonte, o sencillamente cuando utilizamos algún filtro para aminorar la intensidad lumínica del Sol.



Figura 2: Puesta de Sol en la alta montaña donde podemos ver el disco solar sin ayuda de filtros, mostrándose la fotosfera o "esfera visible".

## Filtros solares

Existen dos tipos de filtro según sea su colocación en el telescopio: el primero se sitúa entre el objetivo y el ocular en telescopios refractores, tiene el riesgo de quebrarse y por tanto no es aconsejable para observadores noveles, además se debe de utilizar con un helioscopio, consistente en un prisma cuya cara reflectante está sin aluminizar de tal forma que el 90% de la luz es desviada del punto de visión; pese a todo, el 10% de luz reflejada en ángulo recto al ocular, deberá ser filtrada para evitar daños oculares o al material que se adapte, aquí podemos utilizar filtros de cristal de densidad variable entre 8 y 12 de soldadura autógena para fotografía o de color naranja para visión directa. El helioscopio más usual es el de Herschel de bajo coste, el cual podemos emplear hasta aberturas de unos 20 cm con telescopios del tipo Cassegrain. Existen otros helioscopios con posibilidad de regulación de la intensidad lumínica. Como recomendación, el filtro de tipo comercial que se enrosca en el ocular, se puede

utilizar hasta aberturas de 60 mm, a partir de aquí es aconsejable usar el helioscopio o diafragmar el objetivo con tapa protectora. Es importante señalar, que nunca hay que confundir el filtro solar con el lunar de menor intensidad, ambos suelen ser de color verde y se distinguen por su indicación en inglés "sun" o "moon". **iNunca serán suficientes los consejos de extremar la seguridad a la hora de visualizar el Sol!**, sobre todo cuando se observa con niños.

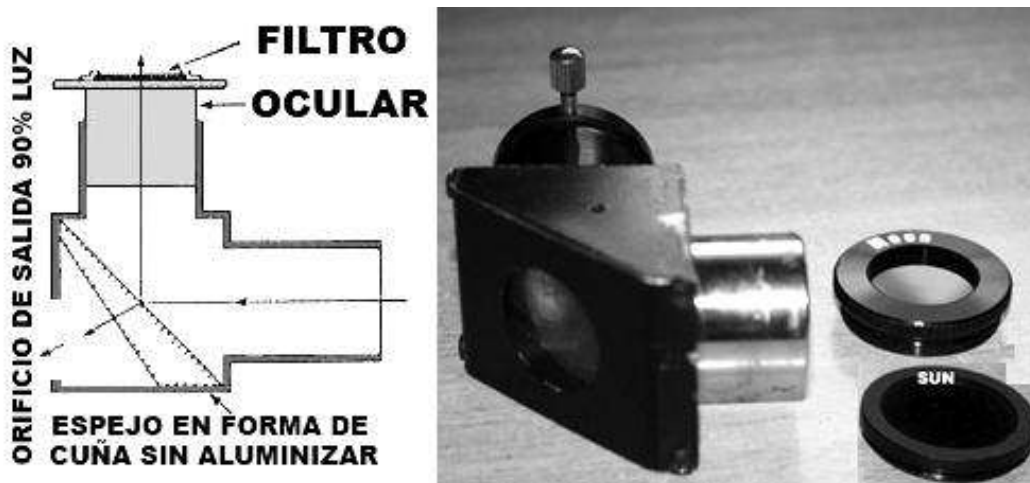


Figura 3: Esquema del helioscopio de Herschel, así como imagen de un helioscopio y filtros adaptables para fotografía en alta resolución y visión directa.

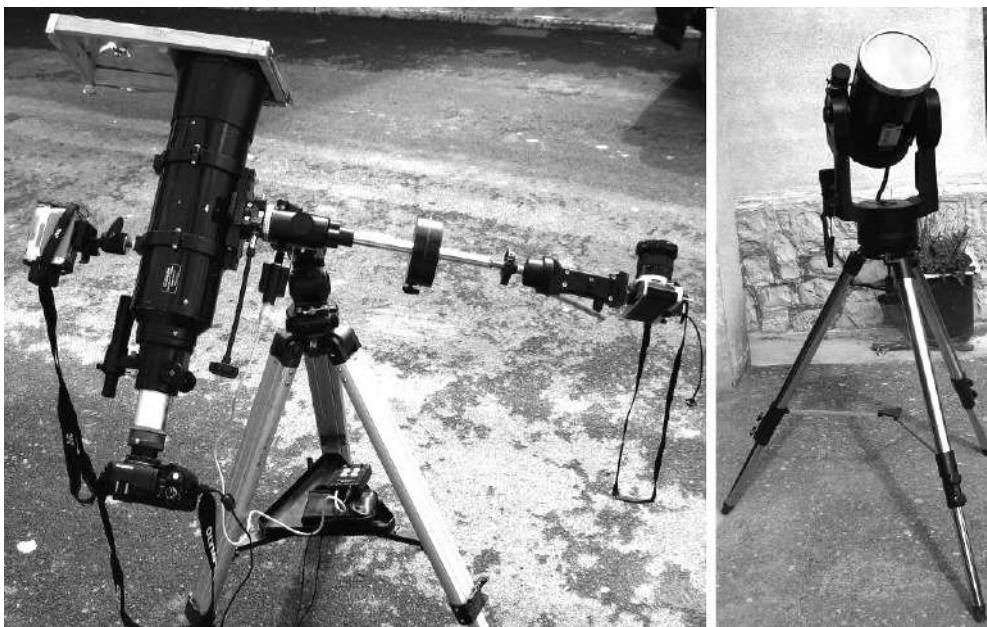


Figura 4: Filtros de cabecera o de objetivo: izquierda de papel Mylar y derecha de cristal aluminizado. Tienen la ventaja de poder ser utilizados durante las fases parciales de los eclipses de Sol y de apartarse en los momentos de la totalidad sin dañar el equipo fotográfico e incluso a la vista del observador. En la imagen izquierda podemos ver además como se adaptan cámaras de vídeo y fotografía aprovechando una misma montura ecuatorial.

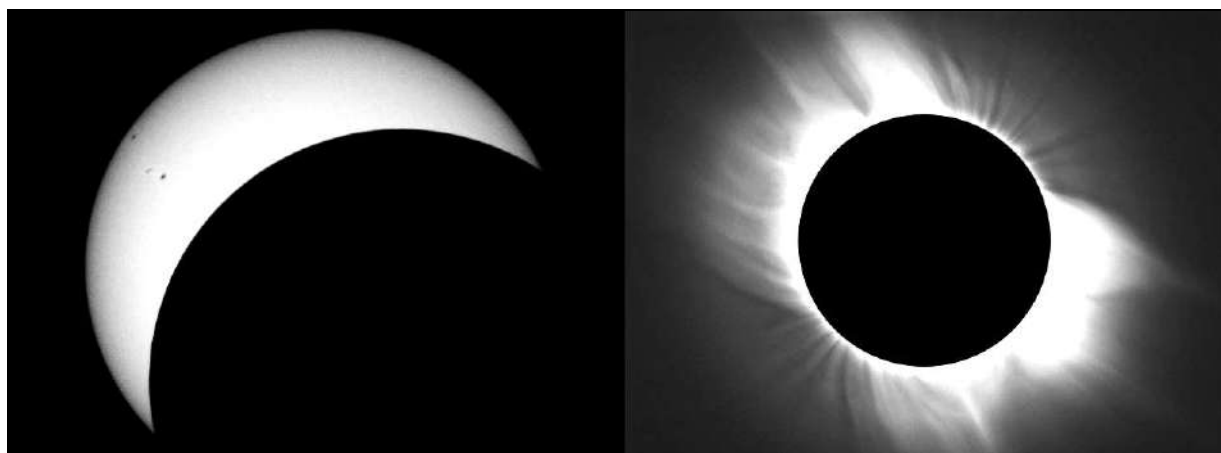


Figura 5: Eclipse total del 29 de marzo de 2006. El uso de filtros sobre el objetivo permite fotografiar las fases parciales (izquierda) y sólo en los breves momentos de la totalidad podemos liberar el filtro del telescopio (derecha) para obtener tomas durante los escasos minutos en que podemos contemplar la corona solar con todo su esplendor.

El segundo tipo de filtro y más recomendable es el de cabecera o de objetivo, el cual da una tonalidad anaranjada y preferible por filtrar las radiaciones infrarrojas, de tal forma que se emplea colocándolo delante del objetivo del telescopio. Este objetivo es especialmente útil para la observación de eclipses totales de Sol en sus fases parciales y "evidentemente" quitándolo en la totalidad por su accesibilidad sin que altere el enfoque de la imagen. Con el filtro de cabecera podemos apuntar al Sol todo el tiempo que deseemos, pues jamás podrá quebrarse. Los filtros de objetivo suelen ser de cristal aluminizado para fotografía o para visual según su densidad, aunque su coste es proporcional a la abertura del objetivo desde 60 € a 400 €, por lo que muchos observadores optan por utilizar "papel Mylar", el cual permite a través de hojas recortables fabricarse el filtro a medida por bajo coste: pese a todo hay que advertir que una hoja Mylar de 1 m<sup>2</sup> puede estar alrededor de 60 €, lo cual también es aconsejable para la preparación de observaciones multitudinarias en eclipses de Sol (fases parciales).

### Proyección solar

No suele ser el sistema habitual de efectuar el registro de la actividad solar, sobre todo porque es difícil captar los objetos más diminutos y que después detallaremos (poros, granulación, etc.), salvo que se haga en "cuarto oscuro", donde la única luz que entre sea la que atraviesa el telescopio. La proyección es un método muy seguro de mostrar la imagen solar, consistente en situar una pantalla blanca tras el ocular y a tal distancia que permita "sin deslumbrar" ver el disco solar y los detalles que contiene. Si el telescopio es refractor, es interesante utilizar un parasol a modo de sombrilla colocado en la cabecera del tubo para producir sombra sobre la pantalla de proyección. Si es un telescopio reflector se puede hacer sombra en visión lateral. En ambos casos siempre podemos construirnos el parasol y la pantalla si no vienen de fábrica.





Figura 6: Sistema básico de proyección solar (arriba) utilizando prisma diagonal sobre pantalla lateral. Abajo proyección solar en cuarto oscuro sobre pantalla blanca: ¡cuanto más oscuro sea el lugar de observación, más contrastada será la captación de detalles en alta resolución!

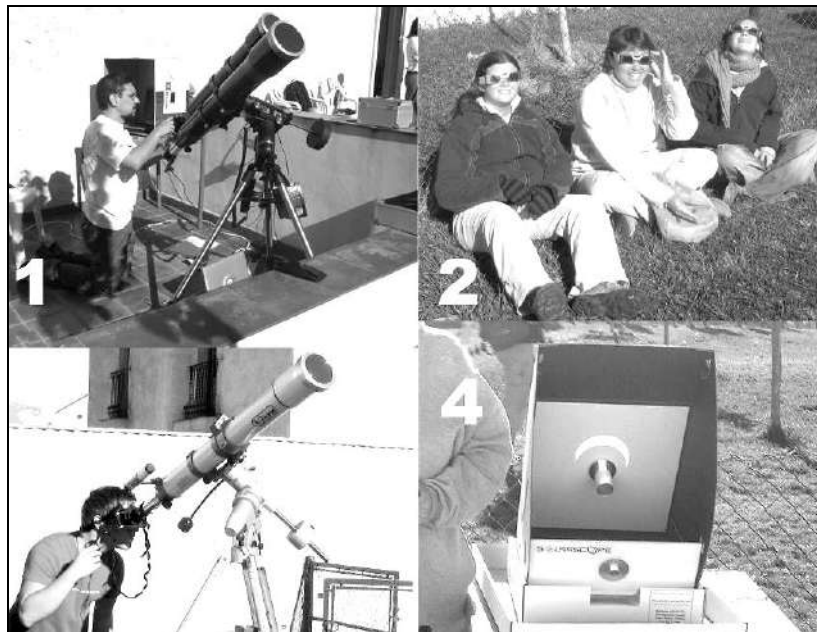


Figura 7: Algunos sistemas de observación solar: a-Visión directa mediante filtros de cabecera u objetivo. b-Visión directa a simple vista mediante filtros de gafas para eclipses. Además son especialmente útiles para determinar la existencia de grandes grupos de manchas. c-Fotografía directa del Sol mediante filtro de cabecera u objetivo. d-El "SOLARSCOPE" se ha convertido en una práctica herramienta para ver el Sol sin riesgo mediante la proyección en una caja oscura.

Otra ventaja notable que tiene la proyección es que puede permitir la observación simultánea de varios observadores, además de servirnos para "calcar" la posición de las manchas sobre el disco del parte de observación, aunque para ello es interesante disponer de un soporte solidario que aguante lo suficiente como para realizar sobre él los pertinentes "bocetos" solares.

A la hora de situar la proyección de las manchas solares, primero deberemos orientar la imagen del Sol en sus coordenadas E-O viendo el sentido de

desplazamiento del Sol si no hacemos seguimiento con la montura ecuatorial, para ello, se deja "moverse" sin motor de seguimiento el disco del Sol y se anota cuidadosamente el sentido hacia que punto del limbo se va, para luego situar el círculo del parte de observación en ese sentido, incluso si la montura del telescopio fuera del tipo acimutal, podemos hacer este mismo paso y luego situar en ángulo recto las coordenadas N-S. Más adelante lo detallaremos en el capítulo sobre "Método de Observación Solar".

### Ocular electrónico

Las actuales tendencias y tecnología, imponen el registro de la imagen solar mediante cámaras CCD o sistemas de audiovisual AV utilizando oculares electrónicos, de manera que la señal luminosa es colectada por un chip CCD y llevada a un ordenador con capturadora de vídeo o sencillamente a un monitor de televisión con opción de adaptar a un DVD grabador, aprovechando así las ventajas de la visión directa y de la proyección a la hora de realizar observaciones multitudinarias. Este sistema es, al igual que la fotografía, aplicable a la visión de la fotosfera y de la cromosfera.



Figura 8. Detalle de adaptación y visión en monitor de TV del ocular electrónico Meade, cerciorándonos que el sistema NSTC o PAL que figura en la caja de características, sea compatible con el equipo de audiovisual u ordenador que utilizaremos.

La posibilidad de tratar las imágenes de vídeo mediante programas informáticos, nos permitirá además obtener imágenes de alta resolución y calidad, bien a través de fotogramas individuales o bien apilándolos y mejorando el resultado final. Cuando utilizamos el DVD grabador, podemos usar discos regrabables DVD-RW para poder obtener imágenes del mismo día y descargarlas en un ordenador para posteriormente enviarlas en formato de fotografías o ficheros JPG a observatorios especializados o incluso para publicaciones.

## Formaciones fotosféricas

Cuando observamos la fotosfera podemos captar una serie de formaciones características, de las que destacaremos:

### Esfericidad solar

Es un aspecto común tanto a la fotosfera como a la cromosfera. Se trata de comprobar que pese a obtener un disco aparentemente plano del Sol, este es una esfera, lo cual podemos apreciar mediante el "oscurecimiento del limbo", es decir, en el centro el disco será más brillante que en la periferia.

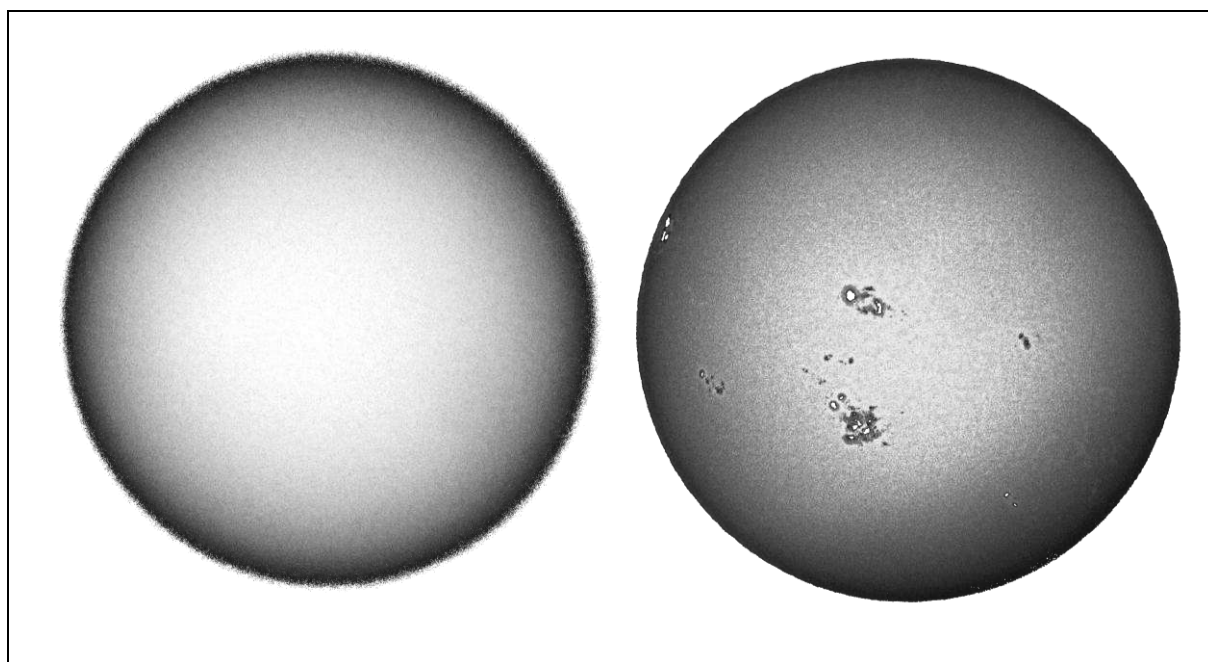


Figura 9: Disco solar. A la izquierda vacío de manchas donde se puede comprobar únicamente la esfericidad solar. A la derecha el mismo disco con gran actividad y apreciándose la existencia de una gran mancha en el limbo occidental vista de lado. En el centro (paso por el meridiano) y vistos de cara, dos grandes grupos tipo F mostrando en detalle su morfología. La variabilidad de visión de detalles en el Sol, llega a hacerse patente, cuando se produce un "mínimo undecenal solar", donde las manchas no se muestran durante días, meses o incluso años, como ha sucedido entre los años 2007 y 2010, donde la ausencia de manchas, hizo de ese período uno de los más inactivos de que se tiene constancia fidedigna. Por contra, en etapas de "máximo undecenal" las manchas solares están agrupadas en diversas latitudes, pudiendo tener dimensiones extraordinarias y llegándose a ver a simple vista cubriendo millones de kilómetros cuadrados del Sol: su máximo estadio es el "paroxismo", desarrollando centenares de focos y manifestando cambios morfológicos de gran interés en pocas horas, registrándose las mayores tormentas solares que eyectan material plasmático al espacio interplanetario.

### Granulación fotosférica

Cuando la estabilidad atmosférica es óptima y la calidad del telescopio lo permite, es posible comprobar que el disco solar no está vacío. Incluso sin manchas podemos detectar una trama "granulosa", compuesta por infinidad de puntos, que puede compararse con el "pixelado" de una imagen digital o el de una película fotográfica. La explicación es por la existencia de los llamados "gránulos de arroz", que son partículas de apenas 1.000 kilómetros de diámetro que aparecen y desaparecen en pocos minutos, obedeciendo a la respuesta de la radiación y convección solar en las capas exteriores más frías del Sol: cromosfera y fotosfera. Los gránulos son celdas ovaladas, más fáciles de distinguir cuanto mayor sea el diámetro del telescopio y cuanto menos sean las interferencias de la atmósfera terrestre, es por ello que muchos observatorios solares se sitúan a gran altitud con buena estabilidad de imagen, aunque a nivel del mar también se puede captar perfectamente la granulación solar, lo cual es una buena forma de valorar una observación de calidad óptima. Para ello se utilizan las tablas internacionales del "seeing" donde **S= "Sharpnees"** y **Q= "Quitnees"**, además de la de **Calidad de Observación CO** en una escala de 1 a 5, en general siendo **1= Muy Buena** y **5= Muy Mala**. Ocasionalmente, otros autores hacen justo a la inversa la valoración.

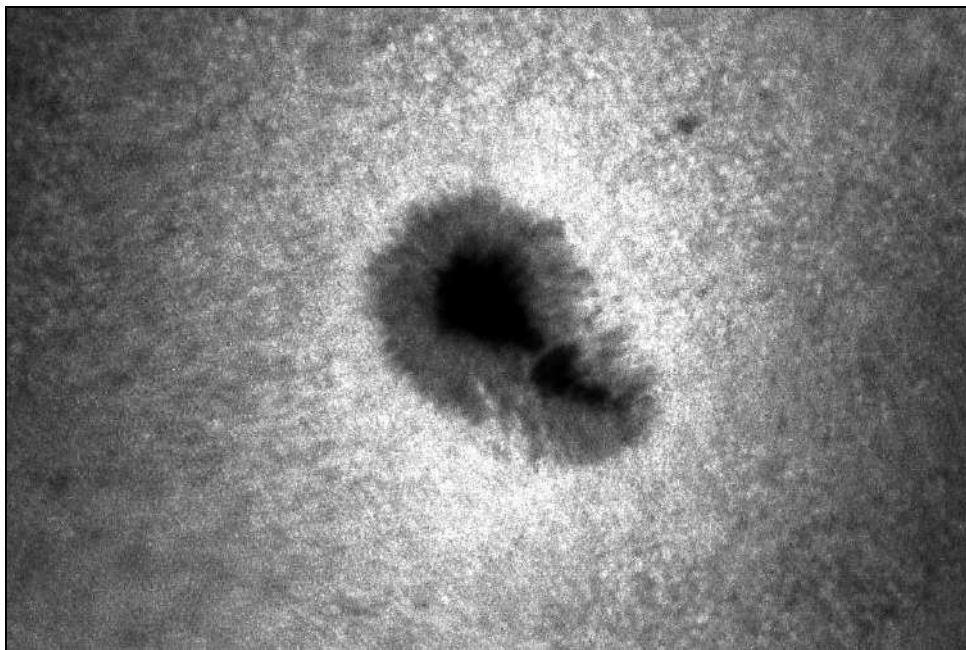


Figura 10: La granulación es visible a modo de celdas en los alrededores de esta mancha tipo H que tiene un tamaño tres veces mayor que el de la Tierra.

## Manchas

El detalle o detalles más característicos y llamativos de la observación de la fotosfera suele ser la detección de las manchas solares cuando están presentes, pues a lo largo de un ciclo undecenal de actividad solar, hay períodos prolongados sin manchas, mientras que en un máximo de tres a cinco años es

casi seguro que no falta la presencia de grupos de manchas con cientos de miles de kilómetros de tamaño y fácilmente detectables con cualquier telescopio.

Las manchas no salen en toda la superficie del Sol, sino sólo cerca del ecuador solar.

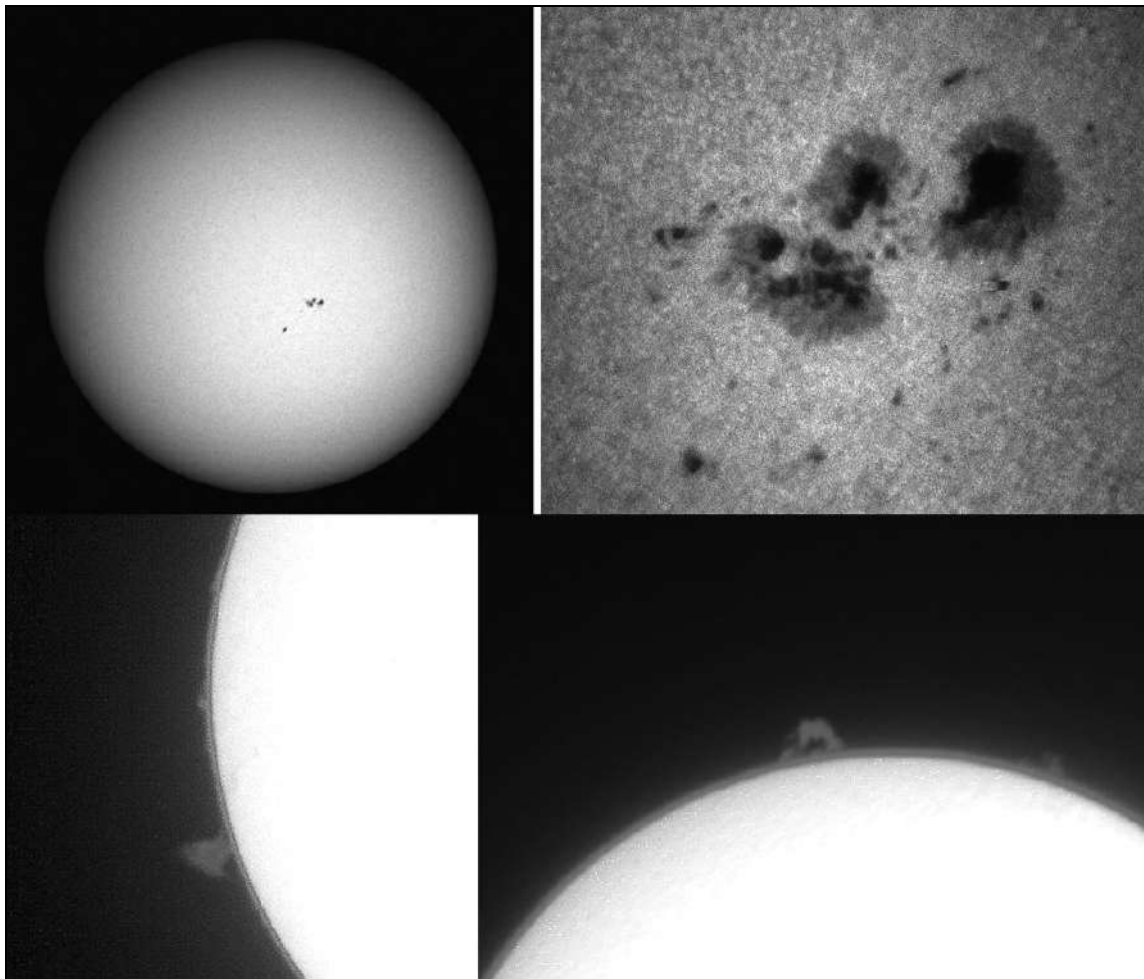


Figura 11: Las manchas (imágenes superiores) suelen ser el aspecto más notable cuando observamos el Sol. Sin embargo popularmente, la gente espera ver las llamaradas solares (imágenes inferiores), lo cual no se consigue si no es cuando se mira la cromosfera o durante un eclipse total de Sol.

Las manchas, como bien califica el nombre, son zonas contrastadas del Sol mucho más oscuras que la fotosfera y que a menudo son comparadas con los huracanes terrestres como ejemplo de descripción. Parecer ser que las manchas se originan por una perturbación o perturbaciones magnéticas que ascienden desde el interior (invisible) del Sol y alcanzan su superficie (zona visible). La perturbación puede tener forma de anillo o tubo de grandes dimensiones, compuesta por líneas de fuerza electromagnéticas. Al llegar a la superficie arrastran la materia solar oscura de capas inferiores a la fotosfera, produciendo como consecuencia de la alteración que afecta también a la granulación



circundante, el efecto de contraste de la zona alterada respecto al resto de la superficie, tomando la apariencia oscura o de mancha, lo cual no significa que las manchas estén a una temperatura mucho menor que la superficie a  $6.000^{\circ}$

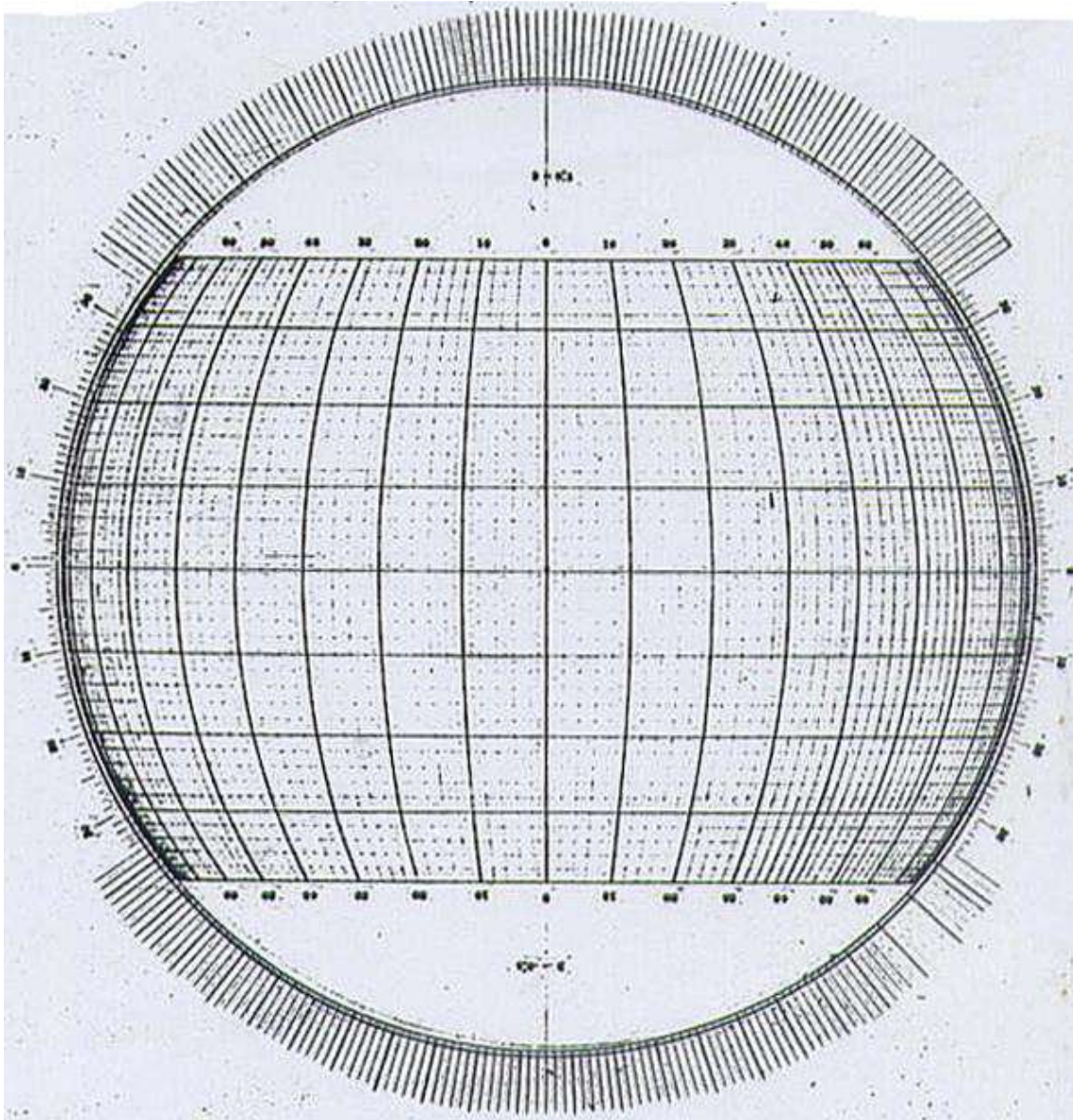


Figura 12: Plantilla solar para situar la ubicación de los detalles solares y poder medir las coordenadas de las manchas solares. Cada plantilla tiene una calibración según la inclinación del eje solar de  $0$  a  $7^{\circ}$  y que dependerá de que día del año nos encontremos. Para ello podemos consultar las efemérides anuales sobre la inclinación del eje solar sobre la eclíptica.

## Fáculas

Cuando nos referíamos a la granulación solar, destacábamos que se trataba de infinidad de puntos que constituían una "trama" por todo el disco solar. Las

regiones alteradas por la actividad solar, no sólo son las manchas, sino sus zonas periféricas e incluso a veces sin haber manchas, donde la "trama granular" también es alterada y de forma similar a las manchas se ven contrastadas, pero en este caso a la inversa, es decir, realzándose la luminosidad de la granulación, siendo muy bien visibles las fáculas en el limbo más oscurecido que el centro del disco solar, llamando poderosamente la atención cuando buscamos manchas, pues suelen ser indicio inequívoco de la existencia de actividad que a veces deriva en la formación de grupos de manchas. Suelen tener formas retorcidas cuando están próximas al ecuador y zonas de latitud baja del Sol.

Existen otras fáculas redondeadas y de poco tamaño en las zonas polares, las cuales obedecen a actividad residual solar. Aun sin ser tan espectaculares como las manchas, su registro también es satisfactorio por constituir parte de los detalles de la fotosfera. En épocas de mínimo undecenal, cuando la fotosfera está libre de detalles, es muy corriente observar las fáculas polares como si de pequeñas manchas se trataran cubriendo zonas polares de manera caprichosa, pues son la actividad residual del anterior ciclo activo. La visión de las fáculas en la cromosfera (capa envolvente a la fotosfera) las identificamos como "playas".

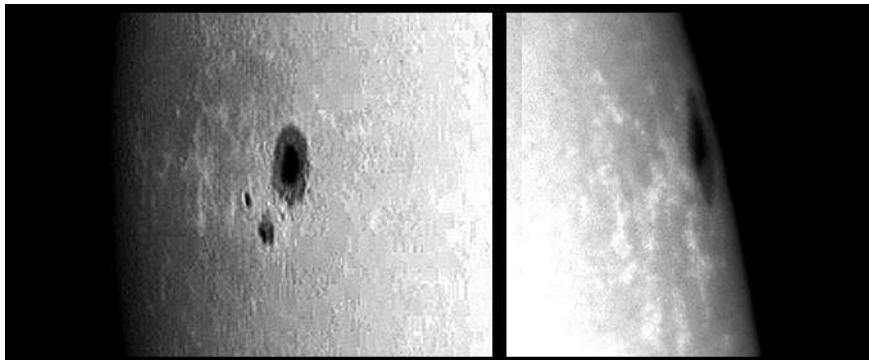


Figura 13: La visión de fáculas se hace más evidente cuanto más cerca del limbo se encuentren y a menudo rodeando las manchas solares. No siempre las fáculas contienen manchas solares, pero su existencia nos puede alertar de la próxima afloración de algún grupo de poros que podría evolucionar en un grupo más desarrollado de manchas.

## Rotación diferencial

El Sol tiene rotación propia o "rotación sidérea" de 25,4 días, a consecuencia de lo cual un punto del ecuador se desplaza a la velocidad de 2 kilómetros por segundo.

Latitud(°)	0	10	20	30	40	50
<b>T<sub>sinódico</sub>(días)</b>	26.80	26.94	27.39	28.22	29.49	31.23
<b>T<sub>sidéreo</sub>(días)</b>	24.97	25.09	25.48	26.19	27.29	28.77

Tabla 2: Períodos de rotación

Sin embargo, el hecho de que la Tierra gire alrededor del Sol, hace que se alargue la visión de la rotación solar a 27 días y cuarto, "rotación sinódica". Asimismo, se ha comprobado que al tratarse de una estrella, no gira uniformemente como nuestro planeta y por lo tanto al no encontrarse en estado sólido, hace que los detalles solares tengan diferente velocidad según la latitud y actuando como si fuera un estado "fluido", apreciándose generalmente en la posición de las manchas solares, pudiendo verse entre 17 días en las posicionadas más cercanas de los polos, respecto a las situadas cerca del ecuador con 12 días.

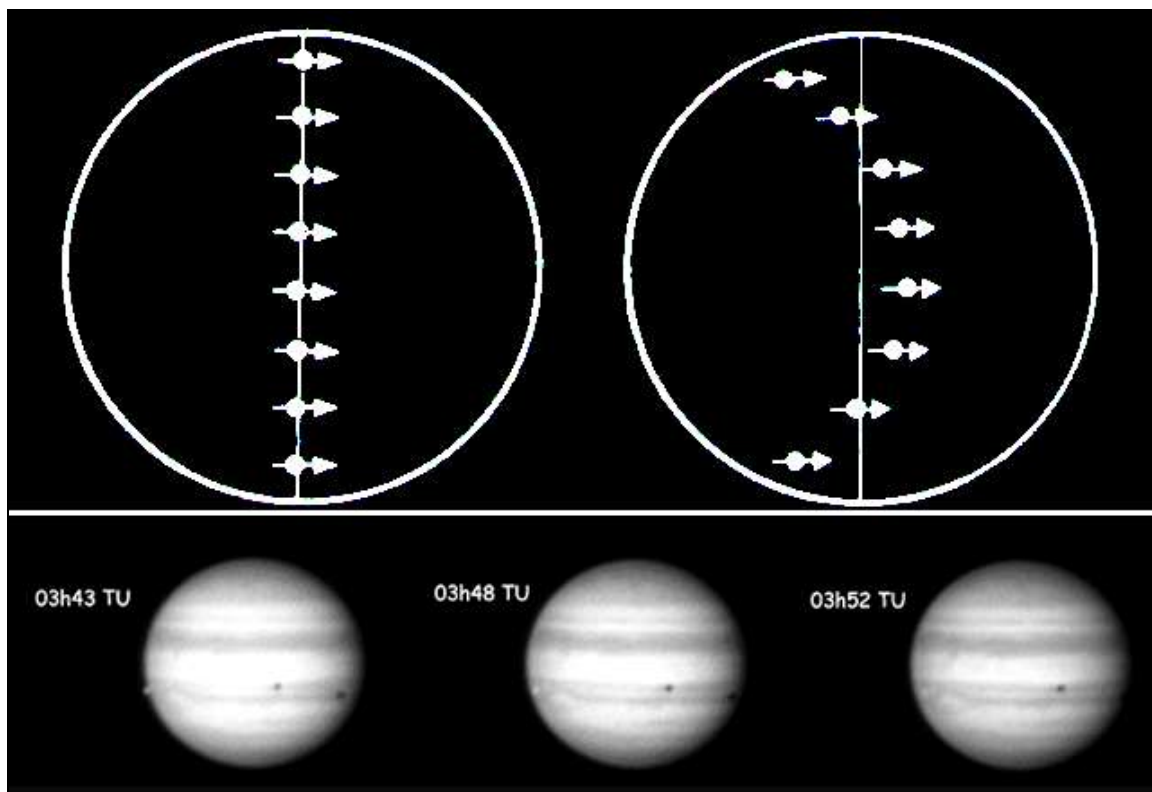


Figura 14: La rotación diferencial marca en un supuesto de partida de los detalles solares una diferencia respecto al punto de llegada de los mismos. Así mismo, la rotación diferencial también sucede en planetas como Júpiter.

Ocasionalmente, algunos grupos de manchas solares, llegan a ser tan longevos, que son vistos durante varias rotaciones sinódicas, hasta completar varias semanas o meses de visibilidad. Gracias a las manchas de larga duración se ha conocido con exactitud el período de rotación del Sol. Es por ello que en Heliofísica se procede a considerar las rotaciones sinódicas para explicar los detalles visibles en cada uno de los giros que el Sol realiza; aspecto interesante para apreciar es también como se reparten las manchas solares o zonas de actividad. Las rotaciones son conocidas como Rotaciones de Carrington, cubriendo un período de 27,255 días, ayudando a determinar las zonas de actividad del Sol y a la determinación de la evolución del ciclo undecenal solar.



## Registro de la actividad de las manchas

### El Número de Wolf

Es este con toda probabilidad el aspecto más fascinante de la observación de la fotosfera, pues desde Galileo Galilei hace más de 400 años hasta hoy en día, ha despertado la motivación de multitud de observadores por todo el planeta, para día a día efectuar el registro de manchas. El conteo de manchas y su clasificación es una de las aportaciones más significativas de los observadores solares a la astronomía, efectuándose mediante el Número de Wolf. Este número empleado internacionalmente desde 1848, consiste en distribuir las manchas por grupos y a su vez, cada grupo por focos individuales, de tal forma que aplicando la fórmula **Nº DE WOLF=10G+F**, obtenemos un índice de la actividad solar bastante fiable. Cuando no hay manchas el WOLF será cero y a medida que contemos grupos y focos, se destacarán números más elevados en mayor o menor medida. Rudolph Wolf introdujo en 1848 su método de registro de la actividad solar a partir del recuento del número de grupos y de manchas universalmente conocido como número o índice de Wolf o de Zurich. Aunque arbitrario, tiene la virtud de que el propio Wolf lo extendió hacia el pasado hasta las primeras observaciones telescópicas de Galileo y de Scheiner y que se ha proyectado, ininterrumpidamente, hasta nuestros días (tarea realizada fundamentalmente por amateurs), con lo que actualmente poseemos registros de la actividad solar de los últimos 380 años. La fórmula del número de Wolf es:

$$W = K (10G + F)$$

donde K es un factor constante que se asigna individualmente a cada observador teniendo en cuenta sus datos, telescopio, calidad de observación, etc., multiplicando sus registros por K se obtiene el valor del índice de Wolf resultante de todas las observaciones mundiales, labor que realiza el **S.I.D.C. "Sunspot Index Data Center"** en el Observatorio Real de Bélgica. Provisionalmente K = 1, pues el verdadero valor será asignado por el centro coordinador una vez haya confeccionado el estudio anual de todas las observaciones. G es el número de grupos de manchas y F el número total de manchas individuales o focos. Así, si en un momento dado en la superficie solar un observador aprecia tres grupos de manchas, conteniendo respectivamente 11, 10 y 4 manchas individuales, el número de Wolf será R:

$$R: (3 \times 10) + (11 + 10 + 4) = 55.$$

Esta manera de llevar el recuento de la actividad solar ha merecido muchas críticas, pues asigna el mismo peso a un grupo de manchas con una extensión de varias decenas de miles de kilómetros que a una simple mancha formada por un poro individual de poco más de un millar de kilómetros de diámetro. De este modo, volviendo al ejemplo anterior, obtendríamos el mismo índice si existiesen sobre el Sol 5 grupos individuales formados cada uno de ellos por un único poro. Así pues, sería preciso tener en cuenta también la superficie de las manchas (es

un método más preciso que también se emplea para medir la actividad solar), aunque para poder relacionar los casi cuatro siglos de observaciones que se poseen de este modo, es recomendable no modificar la manera de llevar el índice. Muchas son las voces que se han alzado y se alzan en favor del cambio proponiendo diversas modificaciones y aunque son encomiables estos esfuerzos, habría que preguntarse ¿Qué fenómeno de los observados es el más genuinamente representante del grado de actividad solar? ¿Por qué uno y no otro? ¿Cómo cuantificarlos? De cualquier manera, cuando anotemos los grupos de manchas, hemos de extremar la atención en no dejar pasar desapercibido ningún poro, ya que de por sí constituye un grupo. "Escanearemos" de limbo a limbo todo el disco solar y con especial atención a las zonas faculares.

## **Evolución de las manchas**

Los grupos de manchas, experimentan a lo largo de su existencia una serie de transformaciones, las cuales podemos describir en:

### **DESARROLLO DE LAS MANCHAS SOLARES**

- **SURGIMIENTO:** Un poro aflora (unipolar) entre la granulación fotosférica y fáculas, el cual no tardará en verse acompañado por otro similar al este u oeste del primero (formación principal y secundaria). En la cromosfera se denota una zona blanquecina que es la fulguración asociada.
- **EXPANSIÓN:** El poro principal de los dos, aumentará de tamaño formando una penumbra y poros secundarios. El poro posterior también se transformará aunque con menos vistosidad en un principio que el primero.
- **MULTIPLICACIÓN:** Ambos focos principales desarrollarán más poros en sus inmediaciones, algunos de los cuales, con el tiempo y al desarrollar penumbras, también llegarán a ser manchas.
- **PAROXISMO:** Aparecen nuevas emisiones de manchas y poros llegando a confundirse los focos principal y secundarios e incluso con nuevos focos que no dejan de multiplicarse en cuestión de horas con los consiguientes cambios que irán generando, además de formar estructuras complejas que pueden llegar a verse sin telescopio por las notables dimensiones y que también pueden ayudarnos a interpretar los ciclos de actividad solar en su etapa de máximo.
- **CONCENTRACIÓN:** Las formaciones más jóvenes comienzan a borrarse, debilitándose notablemente, en tanto que las componentes principales mantienen buena parte de su esplendor, llegando incluso a extenderse más en ocasiones. Van desapareciendo manchas y poros, reduciéndose notablemente el número de focos.
- **DISGREGACIÓN:** Las penumbras de los focos principales adoptan formas redondeadas, denotando una menor actividad, aunque pueden surgir nuevos poros y penumbras. Se puede observar en las manchas más importantes, la formación de "puentes luminosos" que van "quebrando" la estructura de las manchas "partiéndose" hasta quedar reducidas a manchas de menor tamaño a menudo redondeadas.
- **DESAPARICIÓN:** En esta fase, el grupo de manchas, se va transformando en una mancha unipolar hasta acabar siendo un poro y disolverse entre la

granulación. Dependiendo de la fortaleza del grupo, esta etapa puede llegar a durar desde días hasta incluso meses, pudiendo observarse un mismo grupo durante varias rotaciones.

NOTA: Información obtenida de la GUÍA DEL FIRMAMENTO de J. L. Comellas. Ed. Rialp.

## Morfología y clasificación de las manchas

La morfología o forma de los grupos de manchas solares han sido clasificadas por tipologías, en base a la evolución de las manchas, para lo cual se desarrolló el "Catálogo de Waldmeier", donde a cada grupo, no sólo se le realiza el conteo de sus focos, sino que además se le asigna una letra de la A a la I o J según su forma y situación evolutiva. Distinguiremos entre poro (punto) y mancha compuesta de núcleo y penumbra.

Así, todo grupo de manchas, tratándose de poros o de estructuras de manchas complejas, podríamos compararlos con el desarrollo de los seres vivos: "nacen, se desarrollan y mueren". De manera análoga, a la hora de hacer un estudio de cada grupo de manchas, las dividimos en tres grandes bloques por edades: **JUVENTUD, MADUREZ Y VEJEZ**. Distribuyendo de la **A** a la **I** las tipologías.

### CLASIFICACIÓN DE LAS MANCHAS SOLARES

- JUVENTUD
  - TIPO A: Poro único o agrupación de poros con estructura unipolar en un espacio inferior a 5° solares.
  - TIPO B: Dos focos principales con carácter bipolar, uno principal y otro secundario, pueden estar compuestos de varios poros. La bipolaridad es una característica común en las siguientes tipologías.
  - TIPO C: Formación de penumbras en alguno de los focos principales y acompañados de poros.
- MADUREZ
  - TIPO D: Ambos focos principales ya se han transformado en sendas manchas, aunque con una longitud máxima de 10° del disco solar.
  - TIPO E: El grupo forma una estructura de gran relieve con numerosos focos y estructuras penumbrales en desarrollo, superando los 10° del disco solar.
  - TIPO F: El grupo de manchas alcanza su máximo desarrollo posible "paroxismo" tras una multiplicación masiva de focos, alcanzándose más de 50 unidades de focos. Podemos observar multitud de manchas de diversos tamaños con notables cambios en pocas horas. Si además coincide la visión con el paso por el meridiano central del disco solar visible, la visión todavía es más espectacular. Muchos de estos grupos llegan a ser visibles sin telescopio.
- VEJEZ
  - TIPO G: Empezamos a detectar los primeros indicios de decadencia en el número de focos y en la estructura de las manchas, comenzando a redondearse algunas penumbras e incluso a

desaparecer. La longitud del grupo se va haciendo paulatinamente más reducida aunque sin perder la bipolaridad.

- TIPO H: El grupo de manchas pierde la bipolaridad, siendo una sola mancha la característica de este grupo, aunque a veces puede tener algunos poros asociados.
- TIPO I: A veces anotado como J. Es una mancha sin apenas penumbra y que poco a poco va quedando reducida a su núcleo, el cual acabará siendo un poro tipo A, pero encuadrado en un grupo viejo.

De cualquier manera, estas son unas anotaciones genéricas. Sólo un 10% de los grupos llegan a cumplir toda esta cadena evolutiva y generalmente cuando el Sol está activo.

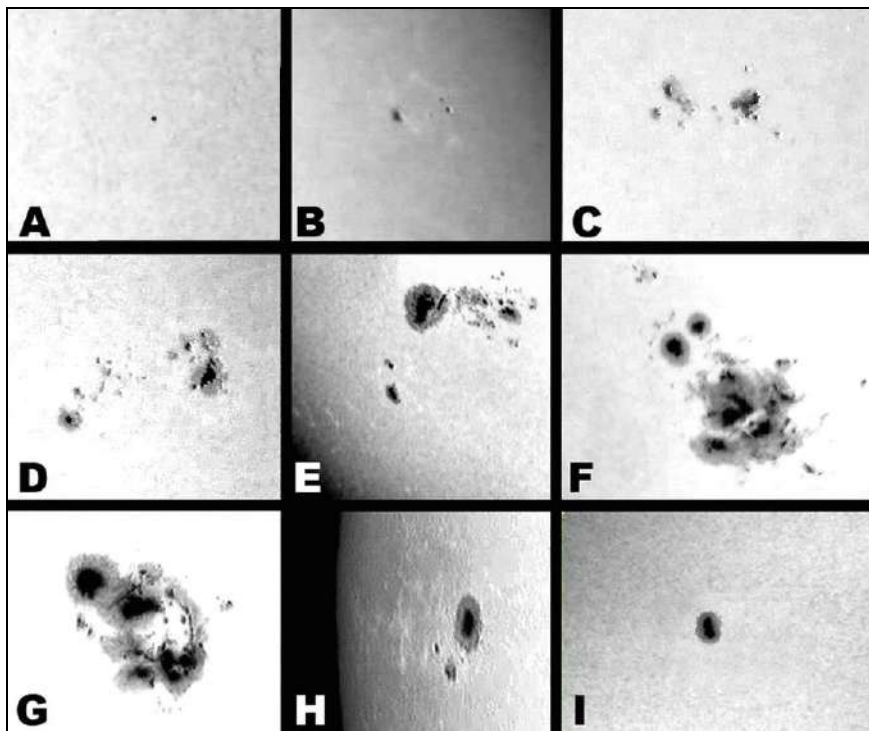


Figura 15: Diferentes estadios de evolución de los grupos de manchas solares.

También cabe destacar que la clasificación es esencialmente evolucionista, pudiéndose citar grupos de tamaño mediano que apenas pasan por las secuencias **A-B-C-D-H-I-A** o **A-B-C-B-A**. Un grupo pequeño puede quedar en apenas **A-A** o **A-B-C-B-A** o sencillamente que no llegue más allá de A. Muchas veces, la detección de estos poros viene condicionada por la atención del observador y la calidad de imagen, lo cual condiciona el resultado de la observación por el número de Wolf. Los grupos que más evolucionan, pasan rápidamente de la Juventud a la Madurez y los dos tercios o más de su existencia quedan estancados en la Vejez entre H-J-A. A menudo, la duración del desarrollo puede ser tan rápida, que nada más constatamos ciertas etapas evolutivas a lo largo de su vida o de un día a otro, además de que la aparente transición, en apenas trece días de visión de hemisferio donde se ubica, hace que no podamos

observar completamente el desarrollo de la mayoría de grupos, pues muchas veces amanecen por el este ya formados y otras se extinguen antes de ocultarse o sencillamente se ocultan por el oeste en plena formación.

### Tránsito de manchas

Otra forma de llevar un registro de los grupos que transitan por el Sol, es dedicando atención a llevar un censo de las manchas que afloran, aparecen, ocultan o disuelven en el disco solar. Para ello aplicaremos el método ideado por el autor Joan M. Bullón, consistente en:

**AFLOREACIÓN:** El grupo "nace" o surge entre la granulación fotosférica, lo cual anotamos con la abreviación **Af**.

**APARICIÓN:** El grupo amanece por el limbo del este . Abreviatura **Ap**.

**OCULTACIÓN:** El grupo se oculta aparentemente por el limbo del oeste del disco solar. Es justo lo contrario a la aparición. Abreviatura **Oc**.

**DISOLUCIÓN:** Observamos que de una observación a otra, el grupo se ha extinguido sin haberse llegado a ocultar por el limbo. Abreviatura **Di**. Esta fase es la opuesta a la afloración.

En las fases de aparición y ocultación, cercano al limbo, las manchas con penumbra suelen experimentar un curioso estrechamiento aparente de una mitad de la penumbra por efecto de la esfericidad solar, es el "**Efecto Wilson**".

Quizás con este "censo poblacional", también podamos vislumbrar los ciclos solares, pues en épocas de mínimo no tendremos apenas visión de grupos que aparezcan o desaparezcan por el limbo y sí de los que afloren o se disuelven como consecuencia de la escasa vida de los grupos con poca energía y que apenas suelen superar las tipologías A-C.

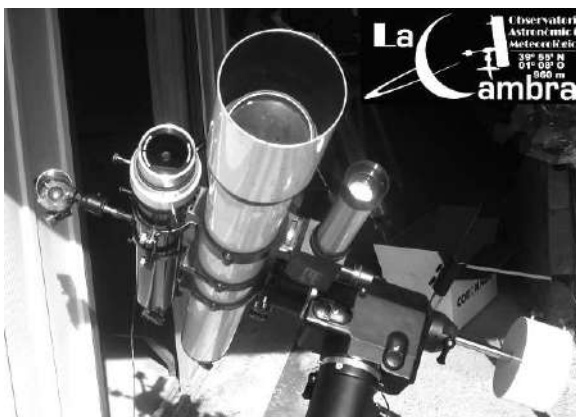


Figura 16: Telescopios para la observación de la fotosfera y la cromosfera. Figura 17: Telescopios de H-alfa y de Calcio para observar la cromosfera, así como monocromadores SOLAR MAX para adaptar a telescopios refractores.

## Observación de la cromosfera

Hasta hace pocos años la observación y seguimiento de la cromosfera estaba exclusivamente en manos de unos pocos. Ello era debido a la dificultad de obtención de filtros de hidrógeno alfa (H- $\alpha$ ) que eran de muy cara fabricación, quedando relegados a observatorios profesionales. Los filtros de H- $\alpha$  permiten una observación detallada de la cromosfera, siendo su uso todavía nuevo para muchos observadores solares su uso.

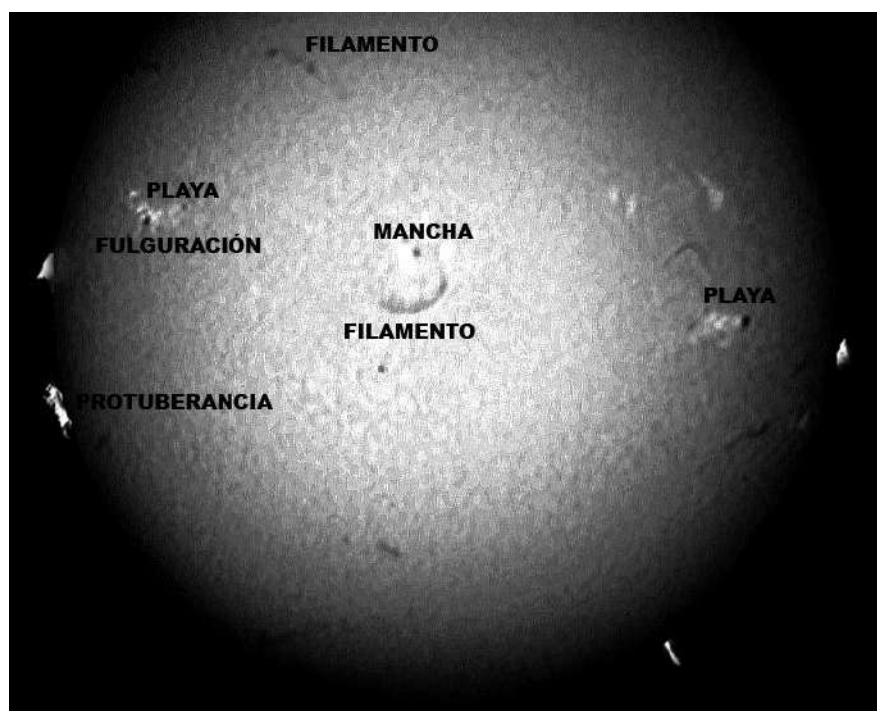


Figura 18: Fenómenos más representativos de la capa de la cromosfera. De forma esquemática en la cromosfera podemos observar: a-Esfericidad solar, b-Granulación cromosférica o celdas, c-Zonas activas que rodean las playas y las manchas (forman un gran halo oscuro), d-Playas, e-Manchas y Fulguraciones, f-Filamentos y Protuberancias.

Hoy en día, gracias a marcas comerciales como CORONADO, BAADER, LUNT, etc., se ha conseguido comercializar a precios muy asequibles telescopios y filtros para la observación de la cromosfera, de entre los que destacaremos el telescopio PST CORONADO de 40mm de abertura, disponible en H- $\alpha$  y en Calcio, el cual permite observar la fotosfera y la cromosfera.

La captación visual de la cromosfera o "esfera de color" de tono rojizo, sin filtros, sólo es posible durante los segundos que dura el inicio y final de los eclipses totales de Sol e incluso en anulares desde los límites norte o sur. La cromosfera es una capa envolvente de la fotosfera, con un grosor de 10.000 kilómetros y de carácter transparente, siendo inobservable por el deslumbramiento que efectúa la fotosfera sobre la cromosfera al no ser ésta opaca, de manera que cuando la observamos en el continuo la traspasamos. Para poder verla se requiere utilizar

filtros de banda angosta muy selectivos que evitan el paso de la luz para dejar llegar sólo la de la línea de un elemento seleccionado, que normalmente es el hidrógeno o el calcio. El **filtro de Calcio** o CaK, está centrado en los 393 nm., nos muestra las playas muy contrastadas, el fenómeno de la super granulación y las manchas solares. El Sol se ve de un color azulado. Los **filtros H- $\alpha$**  dejan pasar una región muy estrecha del espectro electromagnético; únicamente se transmite la luz de un solo color que corresponde a una de las líneas espectrales del átomo de hidrógeno. Este filtro centrado en los 653 nm., es el que más detalles y estructuras nos muestra en el Sol. Con este filtro podremos observar básicamente protuberancias, filamentos y espículas viéndose el Sol de un color rojizo. El filtro siempre debe ser de los que se colocan en el objetivo, los que se utilizan para astrofotografía no sirven, además de no poder ver ningún detalle por el paso de banda tan ancho que tienen; si miramos directamente corremos el riesgo de padecer quemaduras con daños irreversibles para nuestra vista. El paso de banda en H alfa mínimo para acceder a la visión de la cromosfera es de 1 Angstrom.

A continuación, describiremos que fenómenos podemos observar en la cromosfera, aunque conviene matizar si es a través de la línea del H- $\alpha$  o la del calcio:

### **Red cromosférica**

El movimiento de fluidos provocado por la supergranulación concentra los campos magnéticos en torno a las celdas creando la red cromosférica. La red se ve como áreas muy brillantes alrededor de regiones donde habrá, existen o hubo manchas solares: es calcio ionizado. El entramado cromosférico consiste en una red aproximadamente hexagonal que se manifiesta en toda la superficie solar y que se acentúa en lugares donde se concentran más líneas de campo magnético.

### **Celdas de supergranulación**

Son áreas oscuras aproximadamente circulares, forman celdas que llevan gas caliente a la cromosfera. Tienen un diámetro promedio de 32.000 kilómetros y pueden verse aproximadamente 2.500 cubriendo el disco solar como si se tratara de granulación.

### **Playas o "plages"**

Las playas son grandes superficies más brillantes que el resto del disco solar, envolviendo y coincidiendo con las regiones activas, es decir, se sitúan alrededor y sobre las manchas solares, son la contrapartida de las fáculas en la fotosfera. Para poder observarlas con detalle es conveniente utilizar filtros en la línea K del Ca II, pudiendo elaborar diariamente un "índice de actividad" basado en el área que ocupan las playas cromosféricas.

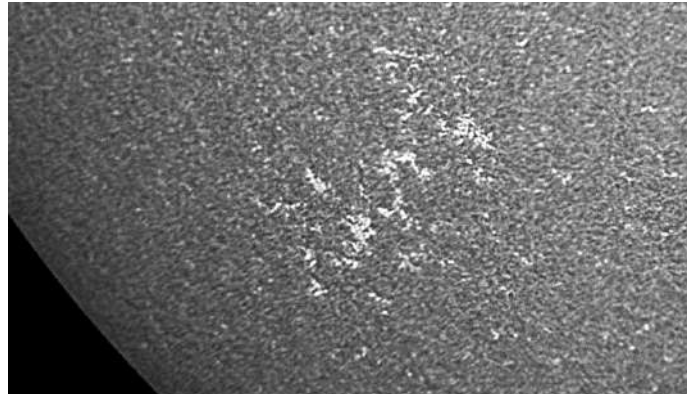


Figura 19: Playas en el limbo solar sin presencia de manchas vistos con filtro de Ca. A través de la línea del Calcio, las playas se presentan muy contrastadas.

### Espículas

Forman la estructura fina de la cromosfera y a primera vista semejan “pasto” por todo el disco solar. En realidad, son chorros de gas muy dinámico que en promedio tienen 500 kilómetros de diámetro y se mueven a una velocidad de 20 kilómetros/segundo. Su tiempo medio de vida oscila entre los 5 y 10 minutos y alcanzan alturas entre 3.000 y 5.000 kilómetros sobre la fotosfera. Su observación queda supeditada a la alta resolución y buena estabilidad de imagen.

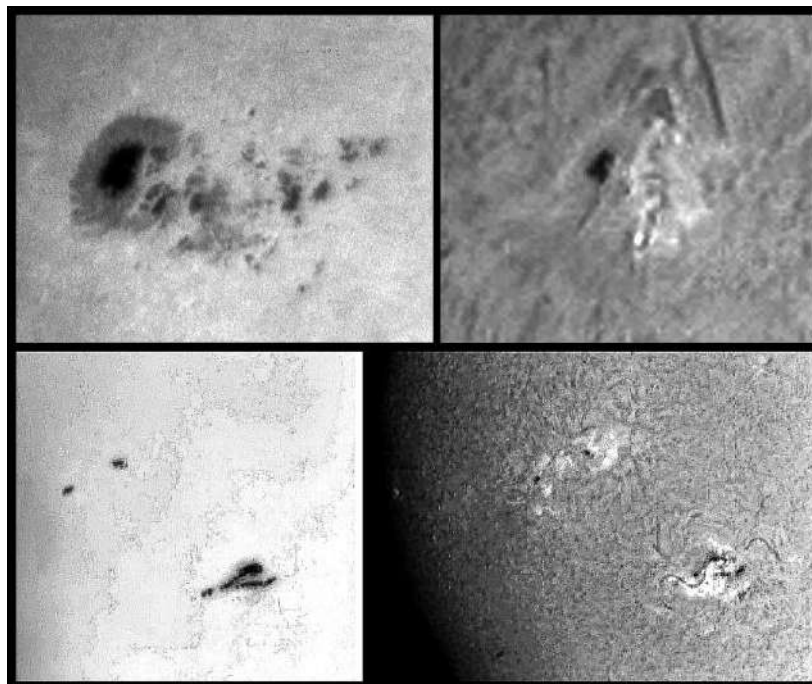


Figura 20: Grupos de manchas vistos en la fotosfera y regiones activas de las mismas en la cromosfera, marcando algunos de los fenómenos más habituales de cada capa, como son las fáculas en la fotosfera y las playas en la cromosfera, fulguraciones y filamentos.



## Manchas

Aunque las manchas eran patrimonio exclusivo de la fotosfera, en la cromosfera se aprecian aunque de manera muy diferente, suele destacar el núcleo de cada grupo, costando de advertir las penumbras y marcándose muy bien la bipolaridad de los grupos activos. Se asocian a las "playas" y a menudo muestran tormentas solares o fulguraciones que demuestran la poderosa actividad de las manchas. Es frecuente observar las playas antes y después de la existencia de las manchas, viéndose (a diferencia de las fáculas) hasta en la zona central del disco solar.

La visión de las zonas activas alrededor de grandes grupos con filtros H-alfa, es una de las vistas más inolvidables del Sol, pudiendo apreciar en pocas horas e incluso minutos, interesantes cambios como la aparición o desaparición de filamentos, explosiones o fulguraciones (en inglés "flares"), la modificación de las playas siguiendo los torrentes magnéticos, así como las zonas oscuras por fuera de las playas, llegando a alterar regiones muy amplias de la cromosfera, uniéndose la zona de influencia de los grupos de manchas solares. Pese a todo, la visión de la fotosfera también nos brinda sorpresas, llegando a vislumbrarse "rastros cromosféricos", lo cual demuestra que, a pesar de lo diferente de las capas fotosférica y cromosférica, a menudo muestran aspectos de conexión, como a veces sucede con las fulguraciones y que veremos en el apartado siguiente. Por último señalar que en épocas de mínimo undecenal, la presencia de protuberancias por el limbo, hace que no pierda su poder de atracción la observación solar, aunque esté libre de manchas o de cualquier otro fenómeno de la cromosfera.

## Fulguraciones o tormentas solares

Las fulguraciones son fenómenos de reconexión magnética en las regiones activas, son las tormentas solares. Semejan explosiones al generar una intensa liberación de energía. Las fulguraciones o ráfagas más energéticas, llamadas de rayos X, pueden elevar la temperatura en la región hasta los 60 millones de grados Kelvin por unos instantes.

La energía liberada viaja a todo el medio interplanetario, pudiendo impactar con la magnetosfera terrestre y provocar diversos fenómenos electromagnéticos como las auroras polares.

Una fulguración se inicia como un punto brillante, el cual, dependiendo de su intensidad, tiende a extenderse sobre la penumbra de la mancha. Las fulguraciones más pequeñas tienen una duración promedio de cinco minutos. Las más activas, llamadas "de dos listones", pueden durar hasta seis horas. Aunque este fenómeno es observable exclusivamente en la cromosfera, en determinadas ocasiones se ha percibido en la luz integral y por tanto en la fotosfera.

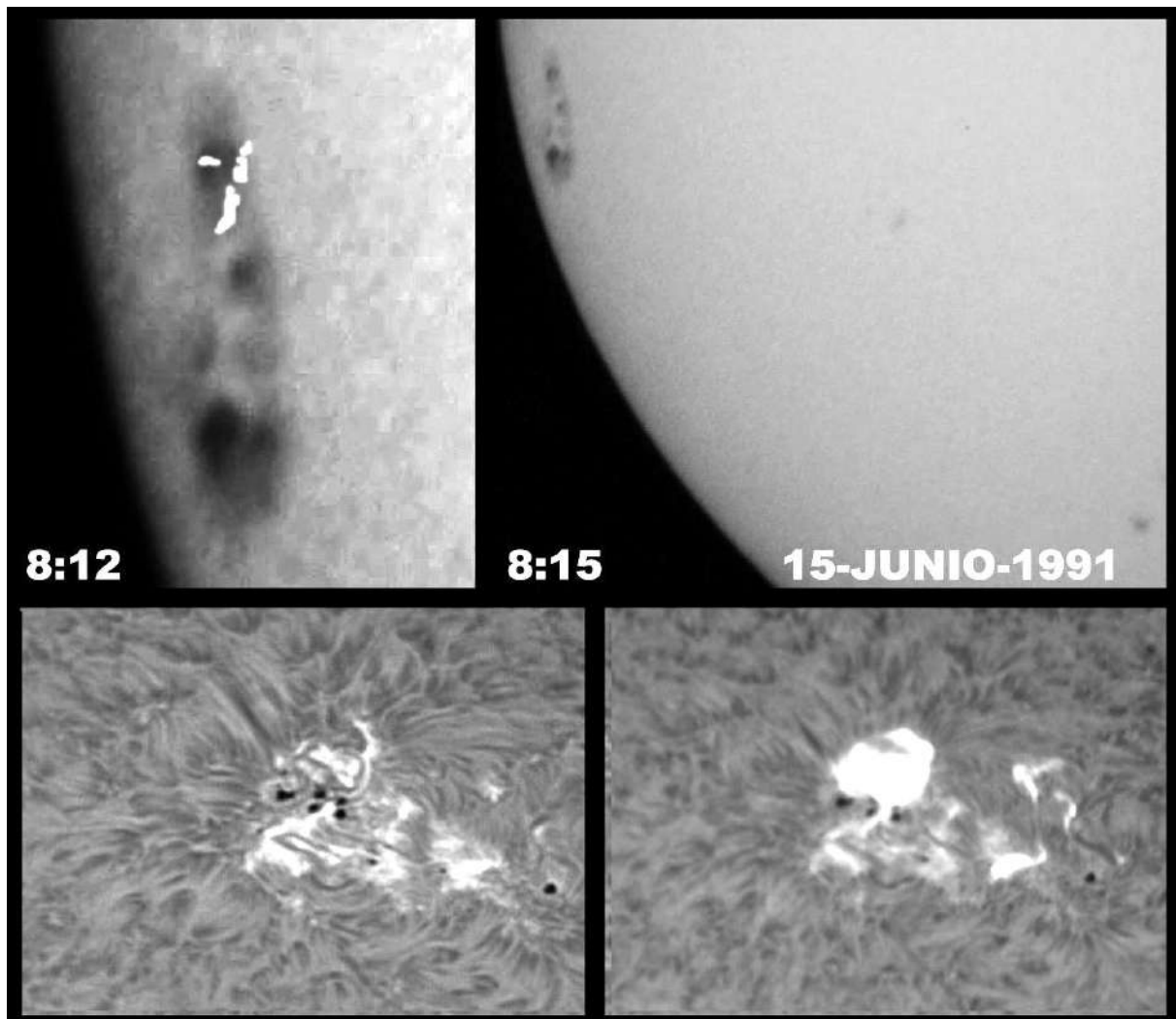


Figura 21: Foto superior: Fulguración captada por los autores en la luz integral o fotosfera. Foto inferior: Fulguración registrada por José Muñoz Reales en la cromosfera el 12 de febrero de 2010 empleando un filtro de H-alfa.

### **Regiones activas y áreas oscuras**

Destacan alrededor de los grupos de manchas y las fulguraciones, triplicando en dimensiones la zona "excitada" por la zona activa de las manchas, viéndose el área envolvente a las manchas más oscurecida por contraste, en ocasiones se puede detectar una región activa antes de aparecer por el limbo oriental, gracias al área oscurecida que va apareciendo o amaneciendo por el limbo.

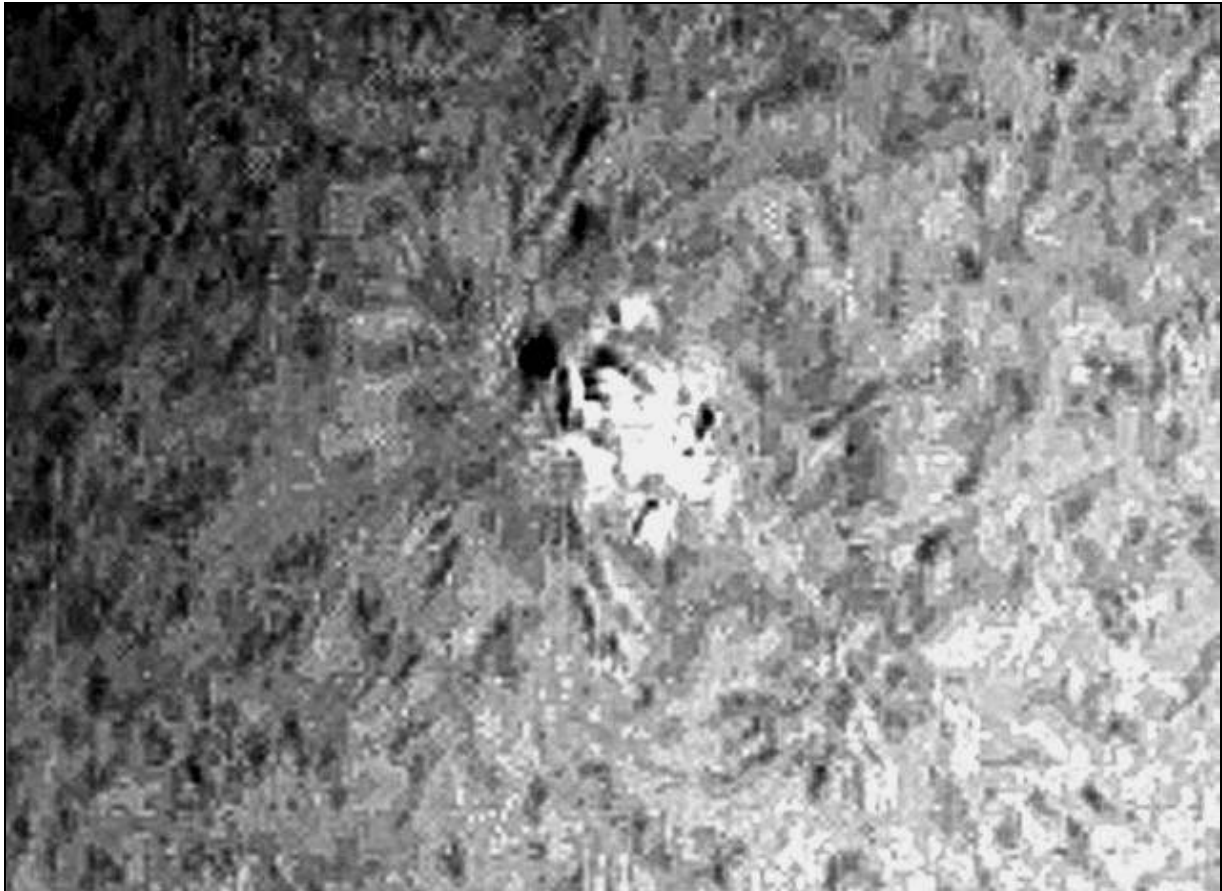


Figura 22: Región activa del noroeste el 27 de octubre de 2009, destacando la playa del oeste de la mancha principal, así como el área de influencia rodeando al grupo y cuya apariencia es la de una elipse oscurecida por contraste.

### **Filamentos y protuberancias**

Con toda probabilidad, lo que más espera cualquier observador no experimentado en la observación solar, es la visión a primera vista de las "llamaradas solares". Estas se manifiestan en filamentos y protuberancias, tratándose de columnas de gases que se elevan sobre la cromosfera hasta la parte inferior de la corona solar. Pueden verse en explosión en sólo 20 minutos.

#### **Filamentos**

Los filamentos, son las protuberancias en su tránsito aparente por el disco solar, se les ve como líneas curvadas oscuras con diferentes intensidades; es como si observáramos la crin de un caballo vista desde arriba, mientras que las protuberancias serían esa misma crin de caballo vista de perfil, al ser vistas en el limbo y detectando su altura de miles de kilómetros.

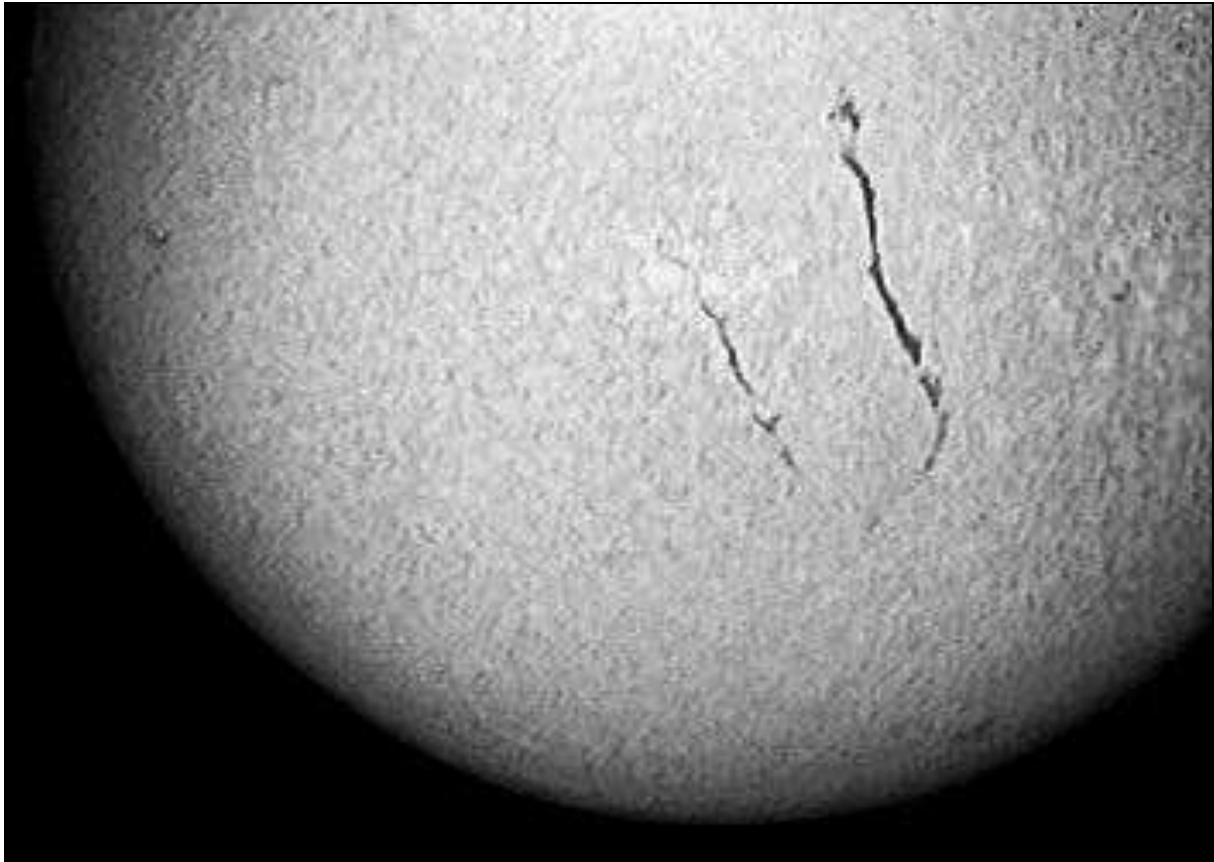


Figura 22: Filamentos recorriendo gran parte del disco solar.

Los filamentos recorren buena parte del disco solar, llegando a ocupar más de un tercio de su radio, aunque existen filamentos muy diminutos apenas detectables. Se ha comprobado que un filamento será expulsado al intensificarse su tonalidad negra y posteriormente se ve su movimiento sobre el disco.

### **Protuberancias**

En efecto, estas se hacen visibles junto al limbo solar con un aspecto muy diferente a como se pueden ver por el disco solar de manera frontal, son las "llamaradas" o "prominencias" en inglés, que a menudo sólo se pueden observar durante los eclipses totales de Sol. Se las ve levantadas sobre el limbo solar, sus alturas van desde 10.000 hasta 350.000 kilómetros, están asociadas con las expulsiones de masa coronal, siempre se ubican sobre la línea neutra de polaridad entre dos sectores de polaridad magnética diferente. Las que se encuentran en regiones activas normalmente cambian rápidamente y se las llama **activas**, mientras que aquellas alejadas de tales regiones son muy estables y se las llama **quietas**. Las quietas pueden permanecer meses sin grandes cambios, aunque finalmente serán expulsados. Cuando una protuberancia aumenta su brillo, luego comienza a moverse. Suelen tener diferentes formas y tamaños; al igual que las manchas son más abundantes cuanto más activo esté el Sol.

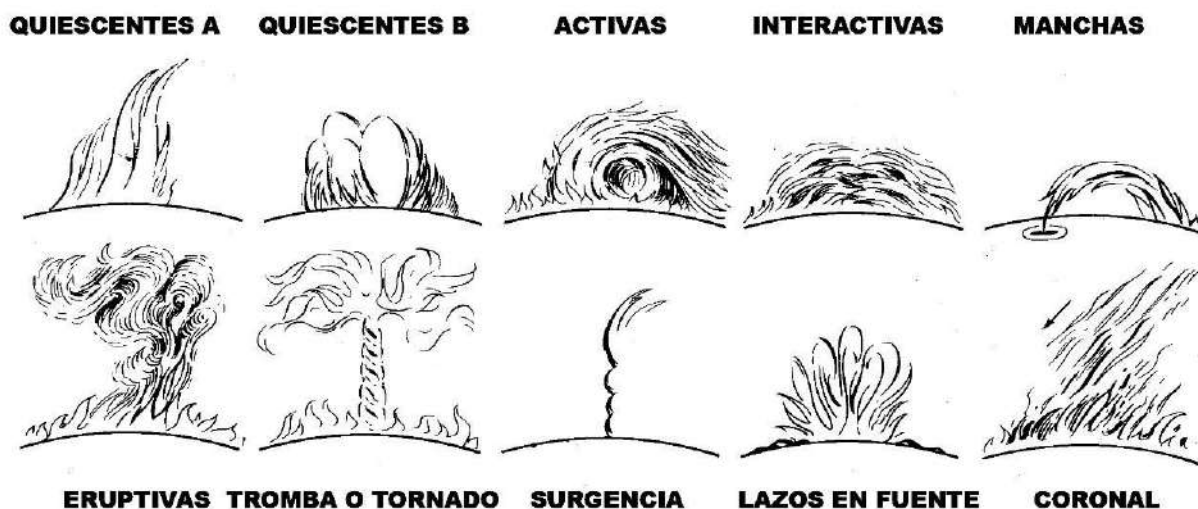


Figura 23: Clasificación de las protuberancias: En esta lámina se recogen algunas muestras de las protuberancias más comunes que se pueden observar en el limbo solar.

Anotar, que en períodos de baja o nula actividad fotosférica, todavía pueden detectarse múltiples protuberancias, si bien este tipo de protuberancias tienen poco grosor para ser captadas como filamentos invisibles, mientras que en épocas de gran actividad solar, las protuberancias no sólo son más altas, sino que además tienen una base más ancha, y no sólo cubren más superficie solar, sino que ocupan más áreas del limbo, siendo en la época de máximo activo todo un espectáculo.

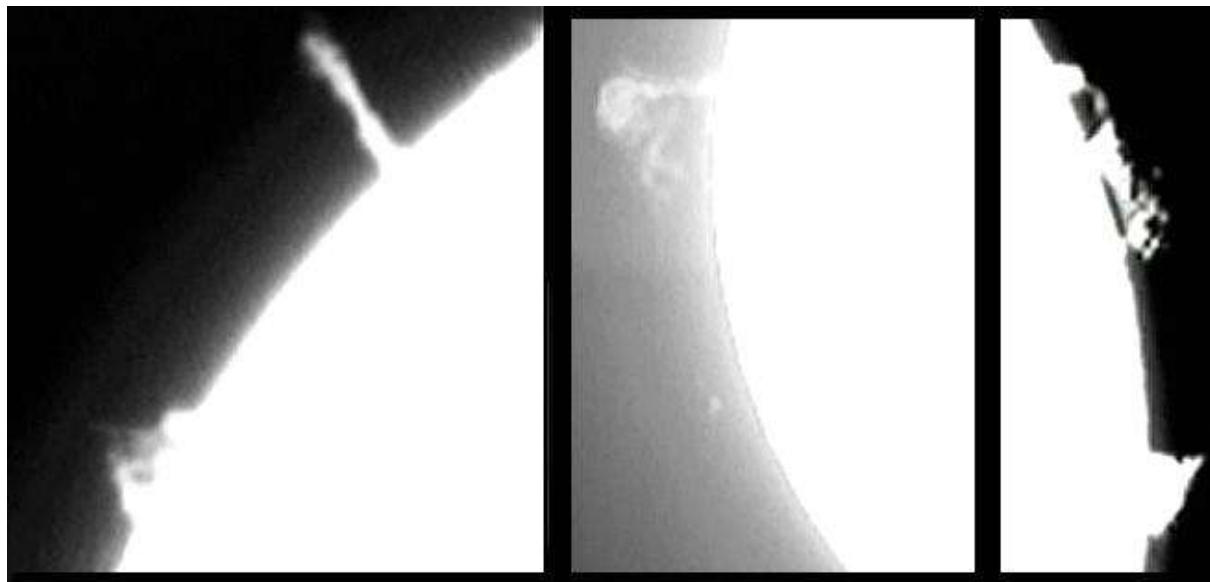


Figura 24: Diversos tipos de protuberancias desde el Observatorio La Cambra, destacándose desde protuberancias quiescentes arriba a la izquierda, a otras con forma de árbol (centro) y a la derecha de zonas activas.

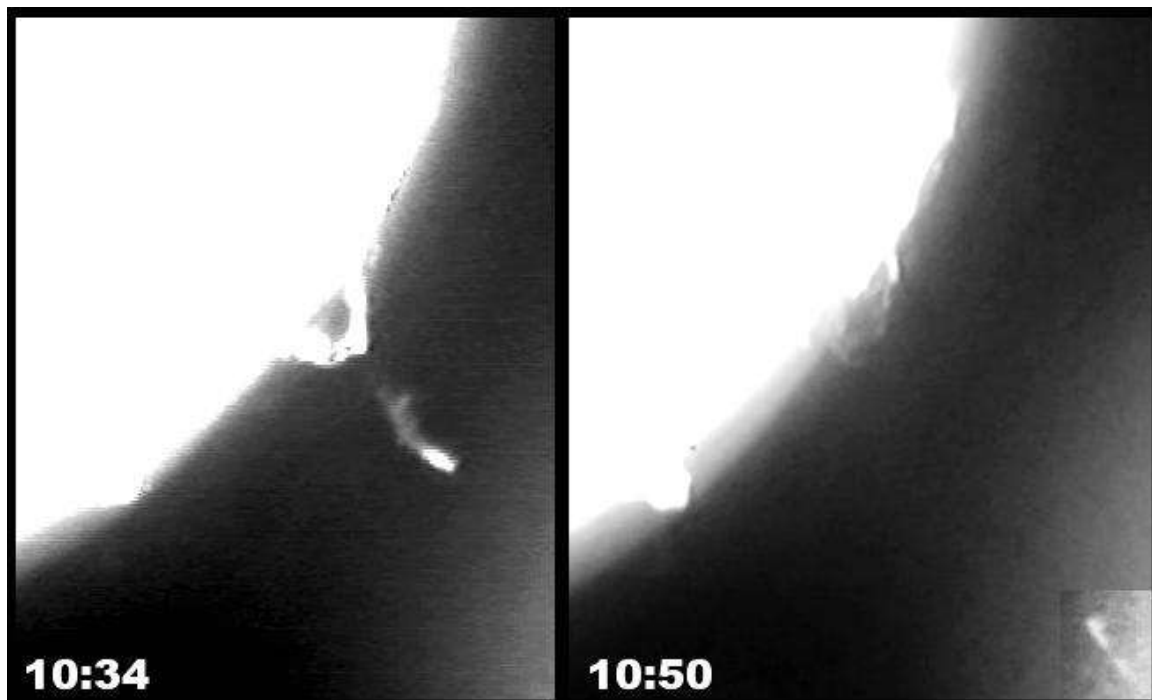


Figura 25: Detección de la fuga de una protuberancia el 19 de diciembre de 2004. En apenas 30 minutos, la protuberancia recorrió más de 500.000 Kilómetros de distancia escapando del Sol. Observatorio La Cambra.

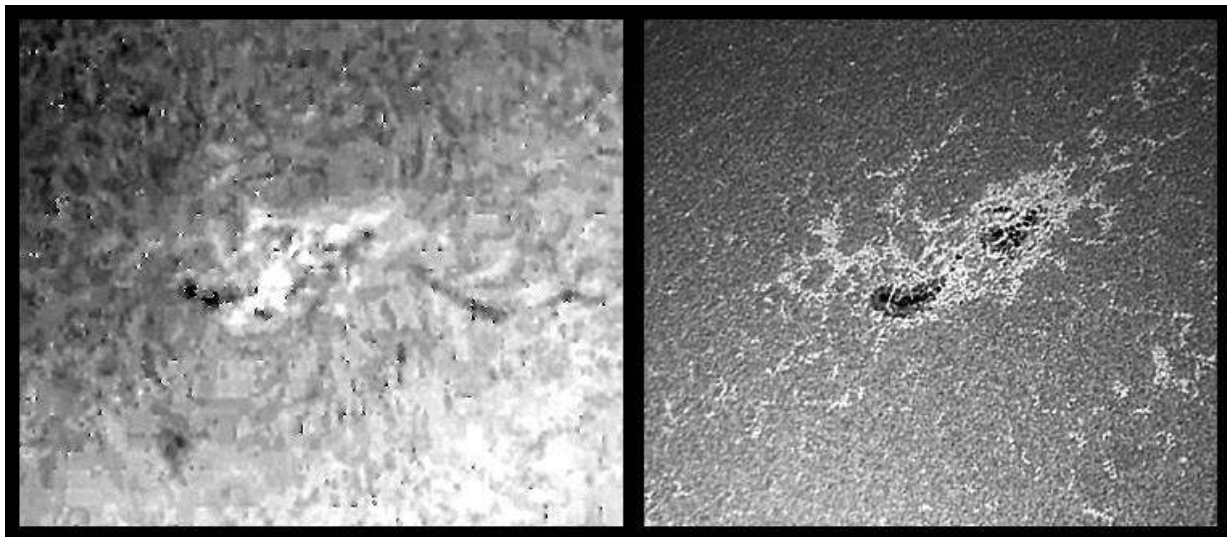


Figura 26: Región NOAA 1040 el 13 de enero de 2010 en la cromosfera, visto con filtro de H-alfa SOLAR MAX 60, (autor Joan M. Bullon) a la izquierda y derecha con filtro de calcio con módulo LUNT B600 acoplado a un telescopio (R)100/900 mm, (autor Eduard Garcia-Ribera). Comparativamente, en la línea del H-alfa destacan los filamentos, las playas reducidas al campo magnético del grupo y la zona activa oscura envolvente. En la línea del calcio, las manchas y playas destacan mucho más contrastadas y definidas, no así los filamentos y zonas oscuras.

## Método de observación solar

### Parte de observación solar diario

Una forma de efectuar un registro de observación diario de la actividad solar, es confeccionando un parte de observación solar, adaptado o personalizado al instrumental de observación con el que vayamos a observar. Para ello, en una hoja deberemos confeccionar un disco o discos donde poder dibujar los detalles visibles en la fotosfera, e incluso paralelamente en la cromosfera, de manera que podamos observar comparativamente la evolución en días sucesivos de los detalles solares, así como anotar todo aquello que facilite esquemáticamente la comprensión de lo que hemos observado.

Podemos proponer la siguiente hoja de observación solar, la cual nos permite disponer del seguimiento en una sola hoja de varios días de observación, comparando la fotosfera y la cromosfera. Además, este "parte de observación diario" es el fruto de cerca de treinta años de observación continuada con su correspondiente evolución. Así, describimos cada uno de los apartados:

#### **ENCABEZADO: (Personalización del parte)**

**OBSERVADOR:** Nombre y apellidos de quien efectúa las observaciones.

**INTRUMENTO:** Indicamos el tipo de telescopio, abertura y distancia focal expresado en milímetros, universalmente adoptaremos la R para los telescopios refractores y la T para los reflectores, pueden efectuarse con SC para los Cassegrain y otros.

**SISTEMA DE OBSERVACIÓN:** Proyección, visión directa con prisma-helioscopio y filtro, filtro de cabecera, etc.

**LUGAR DE OBSERVACIÓN:** Localidad, provincia, altitud, etc.

**MES Y AÑO:** El que corresponda. También podemos hacer mención expresa de la rotación sinódica de Carrington en la que nos encontremos.

#### **FOTOSFERA (mitad izquierda del parte)**

**DÍA DE OBSERVACIÓN:** Anotamos el día en que realizamos la observación, aunque no es preciso que escribamos el mes que ya hemos indicado anteriormente en el encabezado del parte de observación.

**HORA TU:** Se anota la hora y minuto del conteo de las manchas en Tiempo Universal. En España y por motivos políticos y económicos, aunque el meridiano de Greenwich, aunque pasa por Castellón y otras comunidades autónomas, la hora local es la del meridiano de Berlín, por lo que para convertir la hora local a del Tiempo Universal, restaremos una hora en invierno y dos en verano.

**VALORACIÓN DE LA OBSERVACIÓN S, Q, CO:** Las escalas que vienen a continuación nos ayudan a interpretar la calidad final de la observación realizada, aunque no marcan necesariamente una pauta universal, pues a mejor definición óptica, mejor visión, si bien, la estabilidad atmosférica es más concreta, lo cual viene asociado al lugar de observación y los vientos dominantes, siendo el del norte, el viento más turbulento para el este de España.

1,0	Visible alguna fina estructura en las grandes sombras (gránulos umbrales). Estructuras muy finas en la penumbra.
1,5	Estructuras finas en la penumbra. Granulación muy definida.
2,0	Alguna fina estructura en la penumbra y en las divisiones sombra-penumbra y fotosfera-penumbra. Granulación bien definida.
2,5	Estructura de la granulación bien visible. Clara división entre sombra, penumbra y fotosfera pero sin finas estructuras.
3,0	La granulación es detectable cuando se desplaza la imagen solar. Poco contraste en la división sombra-penumbra.
3,5	No es visible la estructura granular. Difícil separación entre sombra y penumbra.
4,0	Sombra y penumbra sólo distinguibles en las manchas grandes. No es detectable la estructura granular.
4,5	Sombra y penumbra sólo distinguibles en las manchas muy grandes.
5,0	Sombra y penumbra se confunden.

Tabla 3: Sharpness=Definición "S"

1,0	No es detectable movimiento alguno en la imagen, ni en el limbo ni en el disco.
1,5	Movimiento de la imagen (agitación) en el limbo menor o igual a 0"5.
2,0	Movimiento de la imagen en el limbo entre 1" y 1"5. Débiles ondulaciones. Movimiento en las manchas prácticamente imperceptible.
2,5	Agitación en limbo de 2 a 2"5, bien visible también en las manchas y en el limbo.
3,0	Movimiento de la imagen entre 3" y 3"5. Fuertes ondulaciones en el limbo.
3,5	Agitación entre 4" y 5".
4,0	Movimiento de la imagen de 6" a 7".
4,5	Movimiento de la imagen de 8 a 10".
5,0	Agitación mayor de 10".

Tabla4: Quietness=Movimiento "Q"



## **COLUMNA GRUPOS**

La parte superior de la columna corresponde a los grupos visibles en el hemisferio norte y la parte inferior a la del hemisferio sur. Situaremos los grupos visibles en el norte identificándolos según su posición de oeste a este con su número de focos y la tipología. En aquellos casos que coincidan dos grupos en el mismo meridiano, anotaremos primero el de mayor proximidad al polo hemisférico correspondiente. Los grupos cuando afloran o aparecen, se anota a su derecha. Todo esto es de igual aplicación a los grupos del hemisferio sur. Cuando un grupo se disuelve o se oculta, se anotará con un guión y a su derecha el correspondiente motivo de forma abreviada, por ejemplo Di para decir disolución y Oc para ocultación.

## **RESUMEN ACTIVO. COLUMNAS G Y F**

La suma de grupos por cada hemisferio y de focos se anota en las oportunas casillas. El cálculo definitivo del nº de Wolf se hace en el parte mensual.

## **CROMOSFERA**

Anotaremos valores meteorológicos en este sector por carecer de otros datos relativos a la observación del Sol. Así tenemos:

**N=1/8**, donde hacemos una valoración de la fracción cubierta de nubes en el cielo, donde 8/8 sería un cielo cubierto totalmente de nubes (aunque sean transparentes y permitan la observación) y 0/8 un cielo totalmente despejado, haciendo las correspondientes valoraciones intermedias entre 1 y 8.

**T<sup>a</sup>** la expresaremos en grados centígrados.

**H %** se trata de la humedad relativa.

**Mb hPa** es la presión atmosférica medida en milibares hectopascales.

**INICIO** o principio de la observación cromosférica.

**FINAL** cuando acabamos la observación.

## **CÁLCULO DEL NÚMERO DE WOLF POR HEMISFERIOS**

Una forma más eficaz de determinar la actividad del Sol, es aplicar el número de Wolf por hemisferios, haciendo los cálculos parciales para cada hemisferio: de esta manera, sabremos que hemisferio es más activo.

**NOTAS:** Podemos destinar este apartado para apuntar las fotos que realicemos, las tomas en vídeo o cualquier otra circunstancia especial.

## **DESARROLLO DE LA OBSERVACIÓN**

El primer problema que se plantea es cómo localizar el Sol: **bajo ningún concepto se debe mirar por el buscador, salvo que tenga puesto un filtro**, si no es así lo más recomendable es dejarlo tapado. El mejor y más rápido sistema es dirigir el telescopio al Sol de manera aproximada e ir moviendo el telescopio de forma que su sombra sea lo más pequeña posible; es en este momento cuando el tubo del telescopio queda completamente paralelo a los rayos solares. Sea cual sea el procedimiento que utilicemos para observar el Sol, deberemos de orientar la imagen del disco del parte con la imagen del disco solar bien posicionada respecto a sus coordenadas E-O y N-S, para así proceder a elaborar el diseño, fotografía o grabación de vídeo/DVD. Señalizaremos la

posición de las manchas y fáculas en la sección de la fotosfera y las zonas activas, filamentos y protuberancias en la sección de la cromosfera. Podemos valernos de lápices de colores para las fáculas (amarillo) y playas (naranja). Un exhaustivo recorrido del disco solar nos llevará a anotar minuciosamente el aspecto general del disco solar en ambas capas. A continuación tenemos unas tablas sobre orientación solar y los tipos de parte de observación solar diario y el mensual, pudiendo a lo largo de los años obtener todo un fichero de heliofísica.

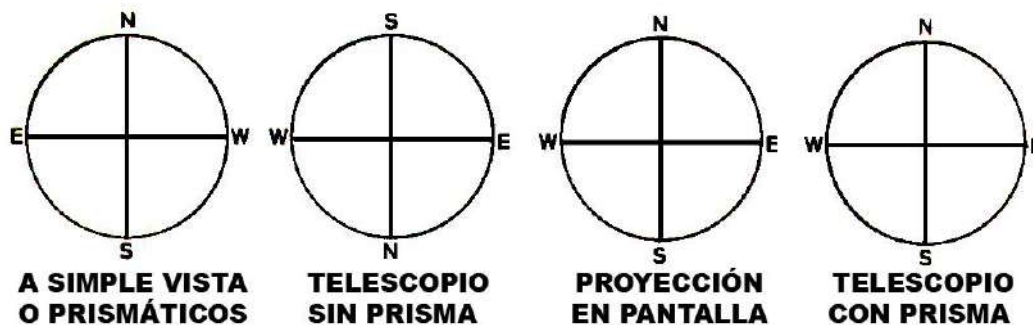


Figura 27: Orientación de las coordenadas aparentes del disco solar según el sistema óptico empleado.

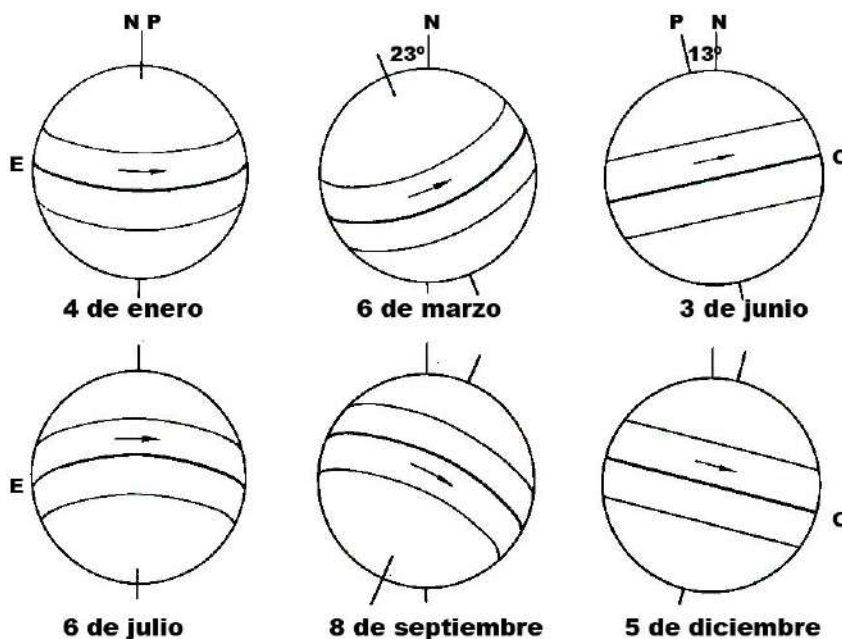


Figura 28: Variación del eje de rotación solar visto desde la Tierra en las diferentes épocas del año, lo cual es fundamental para posicionar las coordenadas de los detalles solares. En épocas de mínimo undecenal, es fácil confundir de hemisferio algunos grupos, por lo que trataremos de comparar nuestras observaciones con las de otros observadores.

# REGISTRO DIARIO DE LA ACTIVIDAD SOLAR

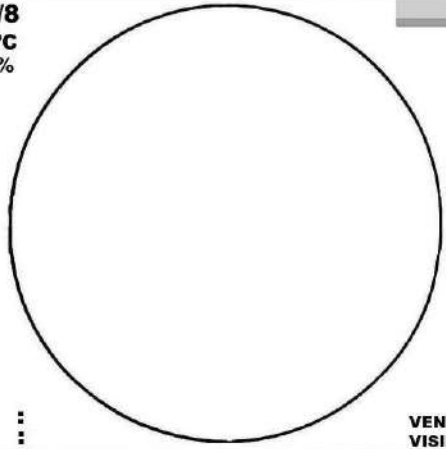
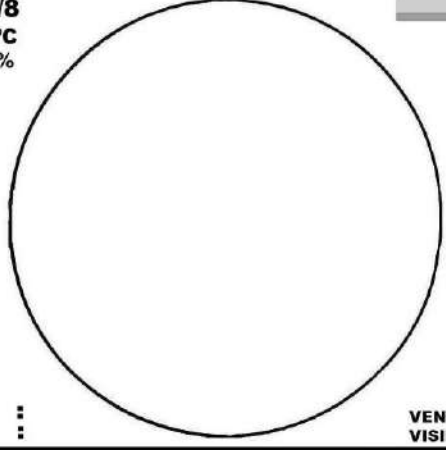
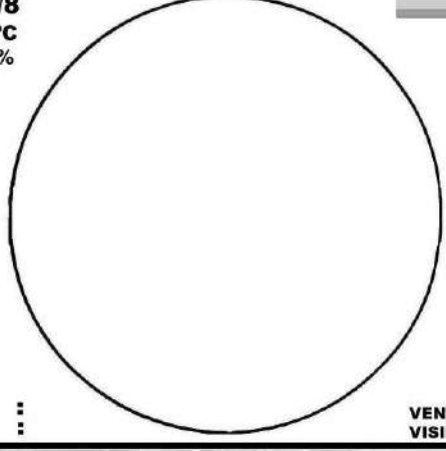
**OBSERVADOR:** \_\_\_\_\_

MES: \_\_\_\_\_

INSTRUMENTO Y SISTEMA DE OBSERVACIÓN: \_\_\_\_\_

AÑO: \_\_\_\_\_

LOCALIDAD: \_\_\_\_\_

<p><b>DIA</b> <input style="width: 20px;" type="text"/></p> <p><b>1</b></p> <p>S= _____</p> <p>Q= _____</p> <p>O= _____</p>	<p style="text-align: center;">N</p> <p>HORA TU <input style="width: 20px;" type="text"/> : <input style="width: 20px;" type="text"/></p> <p style="text-align: center;">GRUPOS</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">GN GS FN FS</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table>									<p>N= /8</p> <p>T<sup>a</sup> °C</p> <p>H %</p> <p>INICI : _____</p> <p>FINAL : _____</p>	<div style="text-align: right;"> <p>mb</p> <p>hPa</p> </div>  <div style="text-align: right;"> <p>VENT= _____</p> <p>VISIB= _____</p> </div>
<p><b>DIA</b> <input style="width: 20px;" type="text"/></p> <p><b>2</b></p> <p>S= _____</p> <p>Q= _____</p> <p>O= _____</p>	<p style="text-align: center;">N</p> <p>HORA TU <input style="width: 20px;" type="text"/> : <input style="width: 20px;" type="text"/></p> <p style="text-align: center;">GRUPOS</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">GN GS FN FS</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table>									<p>N= /8</p> <p>T<sup>a</sup> °C</p> <p>H %</p> <p>INICI : _____</p> <p>FINAL : _____</p>	<div style="text-align: right;"> <p>mb</p> <p>hPa</p> </div>  <div style="text-align: right;"> <p>VENT= _____</p> <p>VISIB= _____</p> </div>
<p><b>DIA</b> <input style="width: 20px;" type="text"/></p> <p><b>3</b></p> <p>S= _____</p> <p>Q= _____</p> <p>O= _____</p>	<p style="text-align: center;">N</p> <p>HORA TU <input style="width: 20px;" type="text"/> : <input style="width: 20px;" type="text"/></p> <p style="text-align: center;">GRUPOS</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> <td style="border: none; width: 50%; height: 40px;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">GN GS FN FS</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table>									<p>N= /8</p> <p>T<sup>a</sup> °C</p> <p>H %</p> <p>INICI : _____</p> <p>FINAL : _____</p>	<div style="text-align: right;"> <p>mb</p> <p>hPa</p> </div>  <div style="text-align: right;"> <p>VENT= _____</p> <p>VISIB= _____</p> </div>

**NOTAS:**

## Equipo básico para la observación del Sol

En diferentes apartados, hemos hecho referencia a diversos telescopios empleados para la visión de la fotosfera y de la cromosfera. Los autores nos remitimos a la práctica cotidiana de observación para aconsejar unos u otros telescopios o marcas, como premisa, hay que utilizar lo que cada uno tenga por casa o por el centro educativo, eso sí, bien adaptado a la observación del Sol y si además queremos que nuestras observaciones sean de utilidad, habremos de ser exigentes con la calidad de visión, para que nos permita detectar hasta el más mínimo poro. Ahora bien, si lo que deseamos es solo "mirar" el Sol, nos podemos remitir a un pequeño telescopio: el ETX 90 de MEADE con su correspondiente filtro de tapadera tipo papel Mylar por un precio inferior a los 300 €.

Para hacer heliofísica a un nivel medio aceptable, basta con el siguiente equipo:

**TELESCOPIO REFRACTOR (R) 102/1.000 mm** con montura ecuatorial y motor de seguimiento.

**FILTRO DE CABECERA** o de objetivo para visión directa de la fotosfera y fotografía al foco directo y con oculares para alta resolución (7 mm). Procede consultar tema de anillos adaptadores a la cámara fotográfica como es la montura T para cada marca.

**CÁMARA FOTOGRÁFICA DIGITAL REFLEX**

**OCULAR ELECTRÓNICO MEADE** para grabación de las imágenes solares.

**MONITOR DE TELEVISIÓN Y DVD** o en su defecto ordenador con capturadora de imágenes, debiendo estar en un cuarto oscuro donde no nos afecte la luz indirecta del ambiente y podamos contrastar la visión para el conteo del número de Wolf.

**CUADERNO DE OBSERVACIONES Y ESTUCHE DE LÁPICES**

En caso de que nos adentremos a investigar la cromosfera, podemos adquirir un telescopio PST CORONADO de 40 mm o un telescopio LUNT de similares características. Conviene consultar también la posibilidad de adquirir un monocromador con su filtro de H-alfa o de Calcio, adaptable a nuestro telescopio, si bien aquí la inversión es superior a los 2.000 €. Como consejo final, lo ideal es hablar con algún experto en la materia. Facilitamos el siguiente correo electrónico de los autores por si se desea asesorar: **cronica\_eclipses@yahoo.es**

### Página del observador solar

Existen en España agrupaciones astronómicas con su sección de Heliofísica donde podemos colaborar. Desde hace años una serie de observadores solares, han creado un foro de heliofísica, cuyas observaciones y resultados pueden consultarse en: **<http://www.astrocantabria.org/index2.html>**

Se trata de la página denominada PARHELIO y aquí podemos buscar fotografías diarias y los resultados de las observaciones. Es hoy en día una ayuda indispensable. A continuación facilitamos otras direcciones internacionales.

## Información Complementaria

### Redes Internacionales de cooperación de observación solar

Los partes mensuales rellenos con el registro diario, se pueden remitir vía Internet el último día de cada mes a:

OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE  
e-mail: [arille@oma.be](mailto:arille@oma.be), [pierrec@oma.be](mailto:pierrec@oma.be), <http://sidc.oma.be>

RED SONNE DE ALEMANIA  
e-mail: [martin.dillig@gmx.de](mailto:martin.dillig@gmx.de), [reinsch@uni-sw.gwdg.de](mailto:reinsch@uni-sw.gwdg.de), <http://www.SONNEonline.org>

INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS -IAC-  
e-mail: [cpv@iac.es](mailto:cpv@iac.es), <http://www.iac.es/home.html>

### Enlaces Internet

<http://www.spaceweather.com> Fotografía diaria de actividad solar (Telescopio espacial SOHO).

[http://mesola.obspm.fr/fom\\_grid.html](http://mesola.obspm.fr/fom_grid.html) Efemérides solares del Observatorio de París.

<http://www.aster.org/solcas.htm> Al final de esta página hay 10 enlaces de interés.

<http://www.SONNEonline.org/deu/int.html> Contactos Internacionales sobre observación solar.

<http://www.sonneonline.org/deu/publik.html> Publicaciones sobre el Sol.

<http://www.sunspot.noao.edu/ATST/> Investigación mediante un telescopio solar.

<http://www.solar.isas.ac.jp/english/index.html> Investigación solar de "Resplandor" (Yohkoh) de ISAS, PPARC y NASA.

<http://www.escuelacosmofisica.com> Escuela de Ciencias de Titaguas (Valencia-Spain). Observación Heliofísica.

## Bibliografía

- P.L. Bakulin, E.V. Kononovich, V.I. Moroz, *Curso de Astronomía General. El Sol*, Editorial MIR, Moscú 1992
- L. Golub, J.M. Pasachoff, *Nearest Star: The surprising Science of our Sun*. Harvard University Press 2001
- Taylor, *Observing the Sun*, Cambridge University Press 1991
- F. Sánchez, M. Collados, M. Vázquez, Eds., *Solar Observations: Techniques and Interpretation*. Cambridge University Press 1992
- M.Vázquez Abeledo, *El Sol, algo más que una estrella*, Colección Milenium, Equipo SIRIUS, Madrid 2004
- M. Vázquez Abeledo, *La historia del Sol y el Cambio Climático*. I Mc Graw-Hill /Interamericana 1998



ApEA, la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, nació en 1995 para acoger a todas las personas que se dedican a la enseñanza de la Astronomía en centros educativos, planetarios, museos de la ciencia, agrupaciones de aficionados y clubes de estudiantes.

ApEA engloba a todos los interesados en la enseñanza de todos los niveles educativos reglados -desde la enseñanza primaria hasta la universitaria- así como los no reglados. También organiza reuniones de formación para sus socios y publica materiales de interés didáctico, como la presente colección.

Más información en [www.apea.es](http://www.apea.es)

