



ÍNDICE

0. Resumen y objetivos del Proyecto.....	3
1. Introducción.....	4
2. Actividad solar: manchas solares, fáculas, erupciones solares.....	7
3. Coimbra: Ochenta años dedicados a las observaciones solares.....	14
4. Orientaciones para realizar los ejercicios.....	17



0. Resumen y objetivos del proyecto

Este documento presenta un conjunto de actividades a desarrollar dentro del proyecto “Sol para todos”, financiado por Ciência Viva (2005 117/18). El objetivo de este proyecto es la promoción entre los estudiantes de la ciencia en general y de la astronomía en particular.

El proyecto se basa en un conjunto de aproximadamente 30000 imágenes del Sol (espectroheliogramas) que se conservan en el Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra, y que son el resultado de cerca de 80 años de observaciones diarias del sol que comenzaron en 1926.

Actualmente existen aproximadamente 15000 imágenes digitalizadas accesibles al público en general y que se deben a otro proyecto, también financiado por Ciência Viva, que se desarrolló de 2002 a 2004.

Esta colección de observaciones solares es de un enorme valor científico. El proyecto posibilita el acceso vía internet los estudiantes, así como a una serie de actividades que les permite el uso de las mismas y por tanto, su acercamiento al método científico con el Sol y su atmósfera de fondo.

Esta guía ha sido elaborada por el equipo de trabajo del proyecto “Sol para Todos”. Deseamos también agradecer a la Dra. Adriana García, al Dr. Arnaldo Andrade, al Dr. Carlos Rodrigues, al Dr. Ivan Dorotovic y al Dr. Paulo Sanches, su colaboración en la corrección de las pruebas editoriales además de sus valiosos comentarios y observaciones.

1. Introducción

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra. Por tanto, nuestro planeta depende de esta estrella desde su formación. Esta dependencia no se produce sólo por el movimiento de translación anual alrededor del Sol; representa mucho más que eso. El Sol es la principal fuente de luz y calor de la Tierra, esenciales para la vida en ella. Los fenómenos que se dan en el Sol (se han dado y se darán) y en su superficie, repercuten en la superficie terrestre.

Esta repercusión no siempre es fácil de entender o de medir, y, en muchos casos, es igualmente complejo establecer relaciones causa-efecto. Depende de cada fenómeno y de su intensidad. Sin embargo, existen resultados probados que muestran la interacción Sol-Tierra. En la figura 1, se comparan dos diagramas: la línea roja representa la variación de la temperatura en la superficie de la Tierra desde 1855 a 2000; la azul representa la radiación solar recibida en la Tierra durante el mismo periodo.

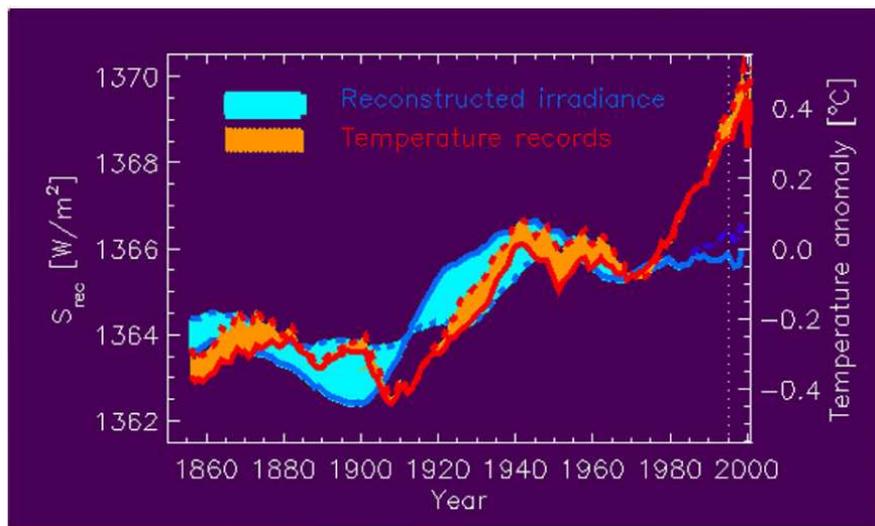


Figura 1: Radiación solar y variación de la temperatura desde el año 1855 hasta 2000
(fuente: http://www.mps.mpg.de/projects/un-climate/resu_body.html)

Como se puede ver, existe una clara correlación entre los dos diagramas hasta 1980 y a partir de entonces, las dos gráficas divergen. Esta divergencia, que da lugar a una elevación anómala de la temperatura, se puede explicar por fenómenos tales como el “efecto invernadero”, un problema actual de vital importancia para el futuro del planeta.

La radiación solar sobre la superficie de la tierra es uno de los efectos del Sol medibles en la Tierra. Se rige sobre todo por lo que ocurre en la atmósfera del Sol. Hay más fenómenos que provienen de la atmósfera, tales como las protuberancias o las manchas solares – Figura 2.

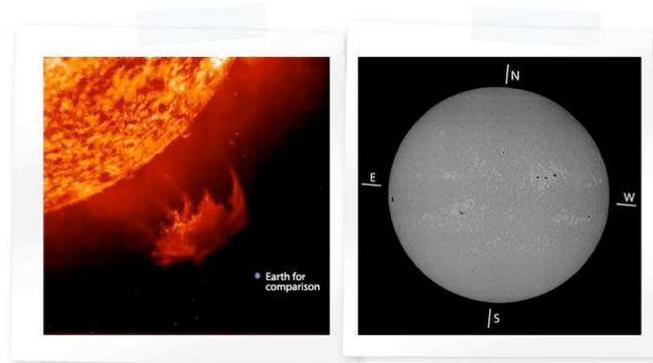


Figura2: la imagen izquierda muestra una prominencia y la comparación entre su tamaño y el de la Tierra. A la derecha se observan manchas solares, identificadas como las zonas oscuras en la superficie del Sol. (fuente. SoHo, ESA y el Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra).

En la figura 3 se comparan dos curvas: la línea continua representa el cambio medio de la temperatura en la superficie de la Tierra desde el año 1856 hasta 2000; la línea de puntos representa el número de manchas solares que se observaron durante ese mismo periodo de tiempo.

Una vez más, como en el fenómeno de la radiación, se detecta una divergencia alrededor del año 1980.

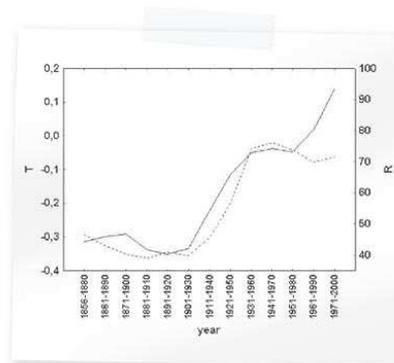


Figura 3: Temperatura frente a número de manchas solares desde 1856 a 2000 (fuente: desconocida)

La interacción Sol-Tierra se puede comprobar de otras muchas formas además de las relacionadas con el clima. Las fulguraciones solares, al ser extremadamente energéticas, pueden interferir en nuestra vida cotidiana. El 30 de octubre de 2003, una “tormenta” solar dañó los sistemas de las centrales eléctricas en Norteamérica, causando un apagón de 9 horas en muchas ciudades canadienses. En la página web “Clima Espacial” (<http://www.solarstorms.org/SRefStorms.html>) se pueden encontrar reseñas periodísticas de tormentas solares que tuvieron lugar entre 1859 y 2003, y que causaron daños materiales. Por ello, estudiar el Sol, además de ser interesante en sí mismo, representa una importante herramienta para entender mucho de lo que ocurre en la superficie de nuestro planeta. Concretamente, estudiar el Sol a través del análisis de la actividad solar es el tema clave de este proyecto en particular y de los ejercicios que se proponen a continuación.

La mayoría de estos ejercicios se centran en las manchas solares. El capítulo siguiente se centra en este tema. El resto de manifestaciones de la actividad solar, como las prominencias y las fáculas, también tendrán su lugar en estas actividades.

2. Actividad Solar: manchas solares, fáculas, erupciones...

Algunos historiadores afirman que Anaxagoras, en el año 467 A.C, podría haber sido el primero en hablar de la observación de una mancha solar. Sin embargo, la primera representación gráfica data de 1128 y fue hecha por un monje de Worcester (Gran Bretaña) – figura 4.



Figura 4: Dibujo medieval de una mancha solar
(fuente: <http://www.parhelio.com/articulos/artichistoria.html>)

Pero sólo a partir del uso del telescopio fue posible comenzar un recuento regular y sistemático de las manchas solares. De hecho, a principios del siglo XVII, el dibujo de las manchas solares formó parte de las observaciones llevadas a cabo por Galileo Galilei con la ayuda de un telescopio de refracción, junto con el descubrimiento de los cuatro mayores satélites de Júpiter y la identificación de las fases de Venus.

En 1844 Heinrich Schawabe propuso la existencia de un ciclo en las manchas solares: es decir, que su número cambiaría periódicamente.

De hecho, si se cuentan las manchas solares a lo largo de varios años aparecen máximos y mínimos, regularmente espaciados en periodos de aproximadamente 11 años – figura 5.

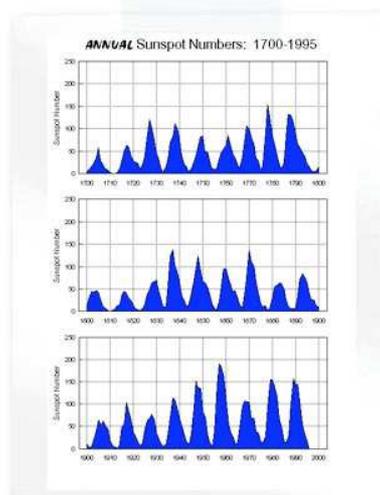


Figura 5: Variaciones en el número de manchas solares entre 1700 y 1995 y el ciclo solar de 11 años.
(fuente: http://www.windows.ucar.edu/tour/link=sun/activity/solar_cycle.html)

Comprender la causa de esta periodicidad o incluso explicar porqué se forman las manchas son aspectos menos obvios que su detección y su recuento. Hay que recordar que el Sol es un cuerpo casi esférico, esencialmente compuesto de gas y plasma. Su atmósfera tiene tres capas: la fotosfera, la cromosfera y la corona. La figura 6 ilustra la situación de estas tres regiones.

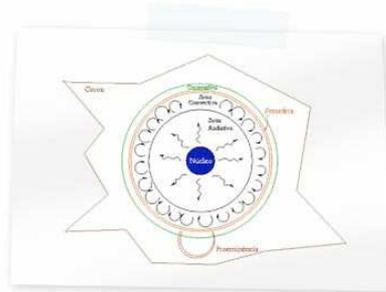


Figura 6: el diagrama representa las estructuras interna y externa del Sol: la fotosfera, la cromosfera y la corona.
(Fuente: http://www.windows.ucar.edu/tour/link=sun/activity/solar_cycle.html)

La fotosfera se puede identificar con la superficie del Sol, con una temperatura de aproximadamente 5770⁽¹⁾ Kelvin. Las manchas solares se forman en esta capa. Pero ¿cómo? El Sol tiene un campo magnético, que resulta de la combinación de los movimientos de elevación y descenso de los gases que tienen lugar cerca de la superficie solar (zona de convección), y de la rotación del Sol. El campo magnético que se genera en el interior asciende a la superficie, creando las manchas – figura 7.

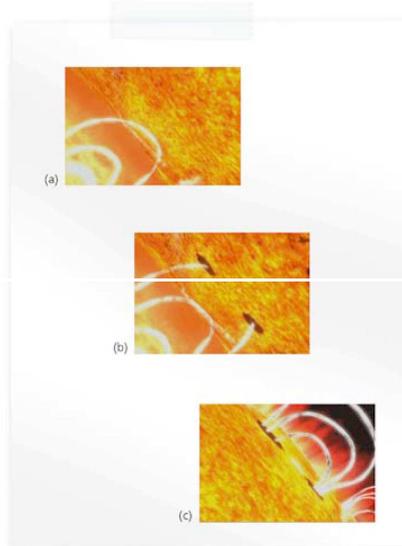


Figura 7: el campo magnético se genera en el interior del Sol (a), asciende a la superficie (b), y las líneas del campo magnético, atravesando la superficie, crean las manchas (c)
(fuente: <http://sohowww.estec.esa.nl/gallery/Movies/10th/SunspotsForm.mpg>
Observar la película te hará entender mejor este fenómeno)

⁽¹⁾0° = 273K

Las manchas solares aparecen más oscuras que la fotosfera circundante, lo que refleja la diferencia entre su temperatura (aprox. 3000K) y la de la superficie que las rodea (5770 K). Por otro lado, se pueden observar dos zonas diferentes en una mancha solar: umbra (centro más oscuro) y penumbra (un borde menos oscuro) – fig. 8

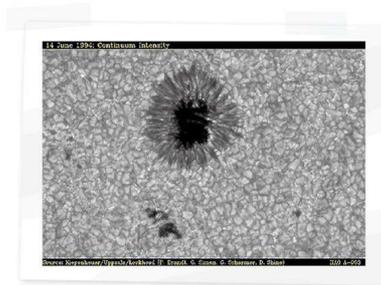


Figura 8: detalle de una mancha solar: umbra y penumbra.
(fuente: <http://web.hao.ucar.edu/public/slides/slide3.html>)

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, el análisis de la mancha solar representa uno de los aspectos más importantes del estudio de los fenómenos que ocurren en la superficie del Sol. Por ello, los ejercicios que aquí se proponen estarán principalmente dedicados a las manchas solares y al tipo de información que se puede obtener de este análisis.

Las fotografías con las que trabajaremos han sido obtenidas con espectroscopia, es decir, través del análisis del espectro solar.

Algunos de los elementos químicos de la atmósfera solar no están en su estado original. Esto significa que “se arrancaron” algunos electrones de los átomos debido a las altas temperaturas. Este fenómeno, que se conoce como ionización, origina áreas más oscuras en el espectro solar, que corresponden a la radiación absorbida por el elemento químico a cambio de uno o más electrones.

La figura 9 presenta la banda espectral centrada en la línea $H\alpha$.

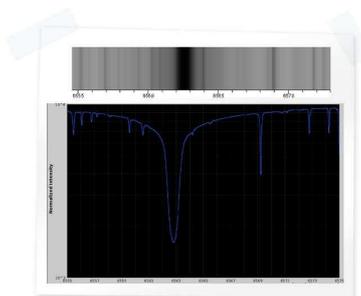


Figura 9 (a) y (b): El espectro solar cerca de la línea de hidrógeno ($H\alpha$): el pico aparece a 6563\AA ; (a) espectro y líneas de absorción; (b) tasa de variación de la intensidad de radiación en función de la longitud de onda.

(fuentes: (a) <http://www.astrosurf.com/rondi/obs/shg/spectre/intro.html>

(b) Observatorio de París

http://bass2000.obspm.fr/commun/pageac_ang.html

Por otro lado, existe otra línea espectral que es crucial para este trabajo porque proporciona información acerca de la fotosfera y de la cromosfera: la línea del Calcio ionizado (Ca II), que aparece entre 3900 y 4000\AA . En particular, la línea K de Ca II aparece a 3934\AA . La línea K3 corresponde al centro

de la banda Ca II y K1-v corresponde a una de las “alas”, en este caso es la línea de longitud menor K3 – figura 10.

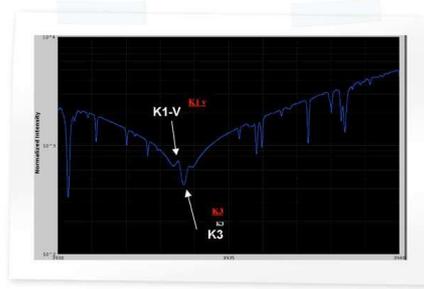


Figura 10: Espectro solar: tasa de variación en función de la longitud de onda próxima a la línea K del CaII.
(Fuente: Observatorio de París: http://bass2000.obspm.fr/commun/pageac_ang.html)

Merece la pena señalar que el interés en obtener imágenes simultáneas (o casi simultáneas) en diferentes líneas del espectro, tiene que ver con el hecho de que a través de ellas y su complementariedad, es posible entender mejor la atmósfera solar. De hecho, las distintas líneas que componen el espectro solar se emiten en diferentes capas de la atmósfera del Sol, a diferentes temperaturas – Figura 11

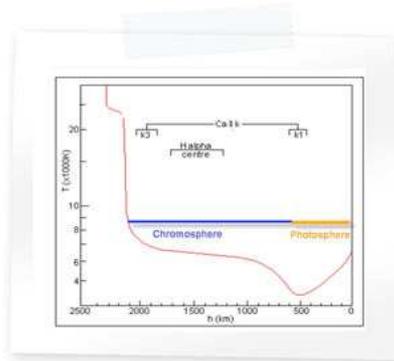


Figura 11: Tasa de cambio de la temperatura en la atmósfera solar (0 km corresponde al fondo de la fotosfera) y el lugar correspondiente donde se forman las líneas: las líneas K3 y H α se forman en la cromosfera mientras que K1-v se forma en la fotosfera.

(fuente: adaptado de J. Vernazza, A. Evrett y R. Loeser, *Astrophys.J.Suppl.*, 45,635-1981)

Como puede observarse, las líneas H α y K3 se forman en la cromosfera y la línea K1-v, en la fotosfera. Por tanto, las manchas solares se pueden ver fácilmente en la línea K1-v y las protuberancias y filamentos se ven en las líneas K3 y H α – Figura 12 (a) y (b).

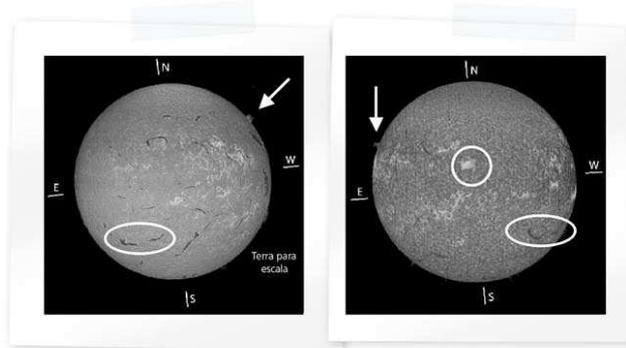


Figura 12 (a) y (b): H α y K3. Protuberancias (flechas), filamentos (elipses) y región de fáculas (círcunferencia).
(Fuente: Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra)

3. Ochenta años dedicados a las observaciones solares en Coimbra

(2)

A finales de la primera década del siglo 20, Francisco Miranda da Costa Lobo (1864-1945), astrónomo y profesor en la Universidad de Coimbra (figura 13) puso en marcha los estudios necesarios para instalar en esta Universidad un instrumento que permitiera la toma de imágenes del sol mediante el uso de espectroscopia. La historia de la instalación del dispositivo es descrita por el mismo Costa Lobo en "Astronomy in Portugal at present time", discurso inaugural de la Conferencia de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, en 1926.

A finales de la década de los noventa del siglo diecinueve, el famoso astrónomo francés Deslandres instaló el espectroheliógrafo en el Observatorio Paris-Meudon. Este instrumentó permitió la adquisición de imágenes de manchas solares y protuberancias.



Figura 13: Francisco da Costa Lobo
(Museo del Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra)

En Europa y en los Estados Unidos existen instrumentos similares. A partir de entonces, se popularizó el estudio del sol, especialmente de sus capas exteriores. Lobo Costa señala que, en 1907, visitó los principales Observatorios europeos con el "propósito de conseguir instalar un espectroheliógrafo para el estudio del Sol en el Observatorio Astronómico de Coimbra".

Fueron muchas las dificultades que Costa Lobo tuvo que superar, pero siempre contó con el apoyo de Deslandre. Éste ofreció algunas piezas del dispositivo y el astrónomo francés d'Azambuja, descendiente de portugueses, tomó parte en la instalación definitiva del espectroheliógrafo, en 1925.

En julio de ese año, la segunda Reunión General de la Unión Astronómica Internacional en Cambridge registra que, "Coimbra, Portugal, ha instalado un espectroheliógrafo y prevé incluir fotografía directa y espectroscopia" (1925, Transactions IAU) .

El 1 de enero de 1926, Francisco da Costa Lobo, con la valiosa ayuda de su hijo Gumersindo, comenzó la adquisición diaria de imágenes solares en las líneas K1-v y K3: los espectroheliogramas.

Arrancó, por tanto, una labor de observación cuyos protocolos y principios se han mantenido hasta la actualidad, permitiendo reunir el archivo de imágenes mencionado anteriormente. A este fin ha contribuido activamente un equipo de observadores dedicados a garantizar que las observaciones del Sol se lleven cabo incluso en días de fiesta, fines de semana y vacaciones .

⁽²⁾Texto basado en "Notes about the History of the Astronomy in Portugal", J. Fernandes, Tema del mes del Astronomer site, Noviembre 2002 (<http://www.portaldoastronomo.pt/tema8.php>)

Actualmente (y desde 1968) el espectroheliógrafo está instalado en el Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra, en Santa Clara – Figura 14

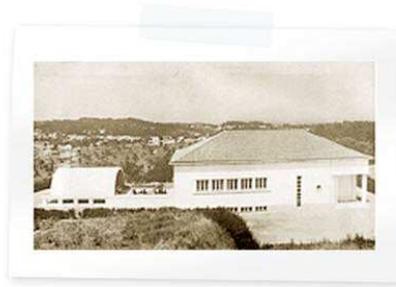


Figura 14: Edificio del espectroheliógrafo, celostato y cúpula
(Fuente: Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra)

Siendo fieles a los principios de observación y a las motivaciones originales, durante todos estos años se han llevado a cabo importantes mejoras en el espectroheliógrafo. Por ejemplo, las imágenes en la línea $H\alpha$, obtenidas en los ochenta, y que hicieron posible recoger tres espectroheliogramas en tres líneas diferentes: K1-v, K3 y $H\alpha$ – Figura 15.

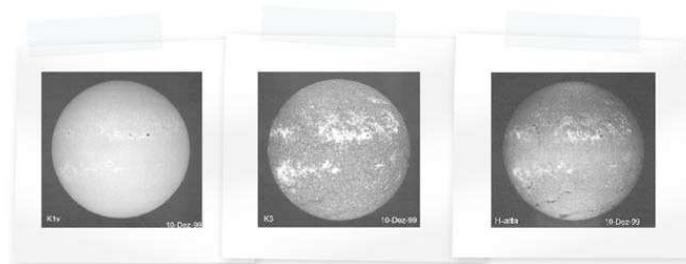


Figura 15: imágenes tomadas el 10 de diciembre de 1999 de las líneas de Calcio (K1-v y K3) y de la línea de hidrógeno ($H\alpha$)
(Fuente: Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra)

Ya en este siglo se pudo instalar una cámara CCD ⁽³⁾ para la toma de imágenes digitales⁽⁴⁾ del Sol, sustituyéndose definitivamente el sistema de película fotográfica en Marzo de 2007.

Los espectroheliogramas se han utilizado durante las últimas décadas en trabajos científicos y de investigación. En este proyecto, usaremos estas observaciones solares en ejercicios de Primaria y Secundaria.

⁽³⁾ CCD - Charged Couple Device

⁽⁴⁾ Para más información consultar el artículo "Eighteen Anniversary of Solar Physics at Coimbra" Mouradian & Garcia, en "The Physics of Chromospheric Plasma", ASPCS, Vol.368, 2007, Ed.Heinzel, Dorotovic and Ruten, p.3

4. Orientaciones para realizar los ejercicios

Los ejercicios se basan en la interacción entre los estudiantes y la base de datos de los espectroheliogramas, accesible a través de la página web del Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra. El acceso es gratuito y se puede hacer a través de la página web del proyecto “Sol para Todos” (www.mat.uc.pt/sun4all) o a través de la página web del Departamento de Matemáticas, realizando los siguientes pasos :

1. Entra en la web del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Coimbra (U.C) – www.mat.uc.pt
2. Selecciona “Observatório Astronómico”
3. Selecciona “Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra”
4. En el menú superior de la página web del Observatorio hay una opción llamada “CENTRO DE DADOS”. En ella selecciona “Arquivo Obs.Solares”.
5. En el lado izquierdo aparece el siguiente menú:



Figura 16: menú de búsqueda del archivo de observaciones solares

Este menú permite escoger un periodo de tiempo desde (“De”) un mes (MM) y año (AAAA) hasta (“a”) otro mes (MM) y año (AAAA). También se puede seleccionar el tipo de línea en “Tipo de Risca”. Hay tres opciones posibles:

- K1-v filtro – si se quiere observar la fotosfera
- K3 o Halpha – si se quiere observar la cromosfera

Elige K1-v (para observar la fotosfera) o “Halpha” o “K3” (para la cromosfera).

Cuando se valida esta opción, en el lado derecho aparecen los espectroheliogramas del periodo escogido (ver figura 17).



Figura 17: En este ejemplo aparecen las 17 imágenes obtenidas en enero 2001 con un filtro centrado en la línea K1v

Para aumentar el tamaño del espectroheliograma de un día concreto previamente elegido, sólo hay que seleccionar la imagen. En la figura 18 se puede ver un ejemplo de este procedimiento, hecho con el espectroheliograma del 30 de enero de 2001.

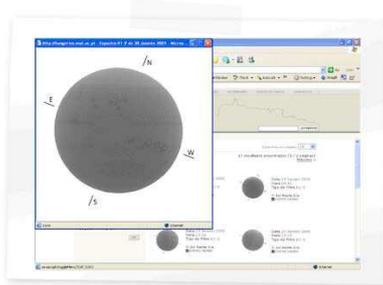


Figura 18: Espectroheliograma del 30 de enero de 2001

Se observa que la imagen aparece como el negativo de una fotografía. Todas las imágenes del archivo de datos se muestran así, porque el proceso de digitalización se basó en las películas fotográficas originales (o sea, negativos). Esto no influye en absoluto en la realización de los ejercicios. Sin embargo, aquellos que quieran trabajar con positivos sólo deben usar un programa que invierta los colores, por ejemplo, el programa "Paint" que es una aplicación estándar del sistema operativo "Windows".

En la figura 19 se comparan dos imágenes del mismo espectroheliograma: la original (izquierda) y la misma después de la conversión de color (derecha).

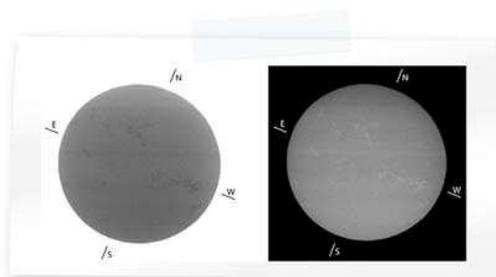


Figura 19: espectroheliograma del 31 de enero de 2001: negativo y positivo.

En la figura 17 se ve que no existen imágenes del 26 y 27 de enero de 2001. Ello se debe a que durante estos días, las condiciones atmosféricas no permitieron las observaciones del Sol.

En ambas imágenes se indican los puntos Norte-Sur (N/S) y Este-Oeste (E/W) referidos a las orientaciones del sol, es decir, al Norte y al Sur solares. Sin embargo, en algunas imágenes no aparecen estas indicaciones; en estos casos, se consideraría la vertical de la pantalla como eje Norte-Sur.

Para los ejercicios descritos en el próximo punto, además del software ya mencionado que se requiere para invertir los colores, es necesario también saber usar una hoja de cálculo, como por ejemplo, Excel. Por ello, en ciertas actividades se pueden encontrar archivos Excel previstos para ayudar en la realización de las tareas propuestas. En el apéndice 3 se muestra un ejemplo de cómo se usa una hoja de cálculo Excel.

Uno de los principales aspectos de los ejercicios que se proponen tiene que ver con el recuento de manchas solares. A continuación se describe un criterio/ técnica de recuento basado en el índice de Wolf, creado en 1849 por el astrónomo suizo Johann Rudolf Wolf (1816-1893).

El índice de Wolf se representa mediante “R” y se calcula con la fórmula: $R=10g + s$, donde “g” es número de grupos de manchas solares que se ven y “s” es el número total de manchas individuales de todos los grupos. El umbral se toma como referencia para contar las manchas solares individuales. Sin embargo, la distinción entre manchas individuales y grupos de manchas no es siempre obvia – Figura 20.



Figura 20: Grupo de manchas solares captadas desde el Satélite Soho
(fuente: <http://apod.nasa.gov/apod/ap010411.html>)

En la figura 21 se muestra un ejemplo que sirve de ayuda con este método de recuento. Se identifican cinco grupos (o sea, $g=5$) y en cada grupo se ve un número diferente de manchas (en la imagen, el número de grupos y el de manchas solares en él aparecen dentro de una elipse). En el grupo número uno se identifican dos manchas; en el número dos, cuatro; en el grupo número tres, hay cuatro manchas solares; en el cuarto grupo, se identifican nueve y en el quinto y último, aparecen dos manchas solares. Por tanto, tenemos un número total de veintiuna manchas. O sea que $s=21$. De ahí, $R=71$.

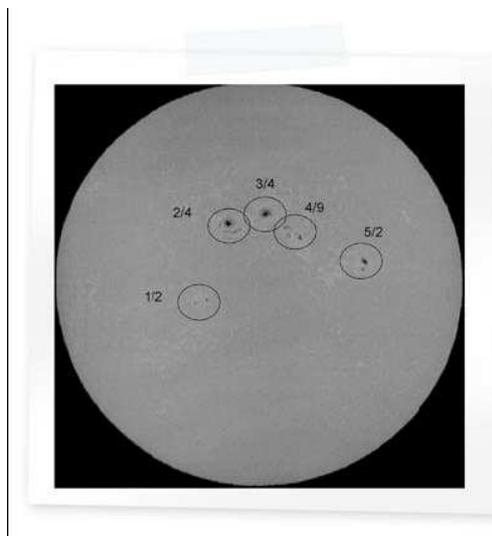


Figura 21: Cálculo del índice de Wolf en el ejemplo: $g=5$, $s=21$ y $R=71$
(Fuente: Dorotovic, comunicación propia)