

# EL SOL Y LA ENERGÍA SOLAR



## RESUMEN

Con los ejercicios que se proponen en esta unidad se pretende que los alumnos conozcan al Sol un poco mejor. Se dan las herramientas necesarias, para calcular la energía solar que se recibe en la Tierra a partir del simple hecho de calentar un bote de agua y, para determinar la rotación del Sol midiendo las posiciones de las manchas solares.

## CONTENIDOS

1. Medida de la energía recibida del Sol
  - Observaciones
  - Cálculo de la constante solar y de la luminosidad solar
  - Comentarios y aplicaciones
2. Observación de la rotación del Sol
  - Observación
  - Cálculo del periodo de rotación
  - Actividad solar
  - Aplicaciones y material adicional

## NIVEL

Segundo ciclo de ESO y Bachillerato

## REFERENCIA

L'astronomia a les aules. Manual didàctic per a educació primària i secundària [www.astronomia2009.cat/bin/view/Main/Recursos#Manual\\_did\\_ctic\\_L\\_astronomia\\_a\\_l](http://www.astronomia2009.cat/bin/view/Main/Recursos#Manual_did_ctic_L_astronomia_a_l)

## AUTORES

**Carme Jordi** (*Departamento de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Barcelona*)

**Robert Estalella** (*Departamento de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Barcelona*)

# EL SOL Y LA ENERGÍA SOLAR

## Introducción

El Sol es “nuestra” estrella. De ella recibimos la energía que nos permite vivir. Con los ejercicios que proponemos pretendemos que los chicos y chicas lo conozcan un poco mejor. En particular, proponemos que midan la energía que se recibe en la Tierra (calentando agua) y la determinación de la rotación (midiendo las posiciones de las manchas solares). La observación de las manchas permite introducir a los alumnos el concepto de la actividad solar y el ciclo solar.

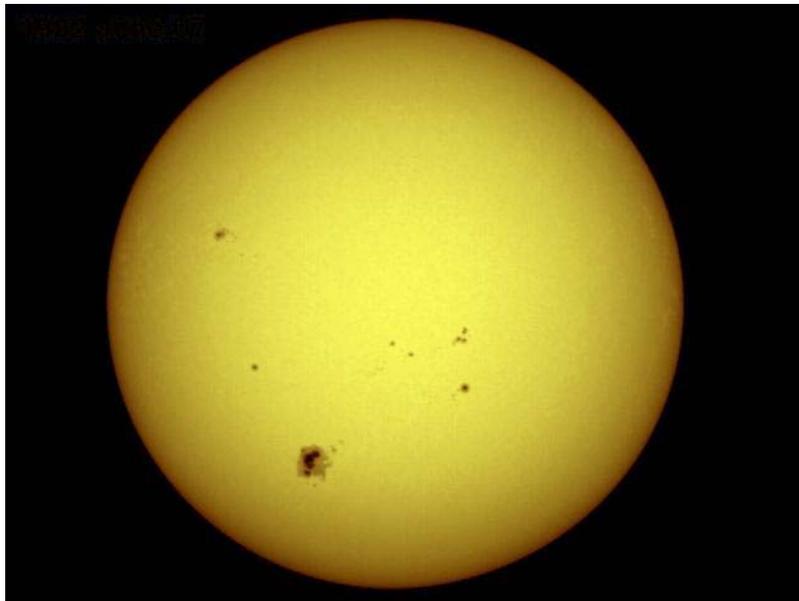


Imagen del Sol con las manchas en la superficie.  
NASA Copyright

# 1. Medida de la energía recibida del Sol

El sencillo ejercicio de calentar agua durante un tiempo fijado permite deducir la energía recibida y, como consecuencia, la energía emitida por el Sol, o sea su luminosidad.

## 1.1 Objetivos:

- Medir la cantidad de energía calorífica recibida por la Tierra procedente del Sol.
- Calcular la constante solar.
- Relacionar la constante solar con la energía total producida por el Sol.

## 1.2 Material:

- Un bote de cristal cilíndrico de boca ancha, con tapa hermética (se puede aprovechar cualquier bote de verdura o legumbre cocida por ejemplo).
- Plástico negro para cubrir la mitad posterior del bote por dentro (hace falta fijar un poco este plástico para que no quede flotando cuando se ponga agua dentro).
- Un termómetro para medir la temperatura del agua dentro del bote.
- Agua a cero grados (se puede conseguir con un cubo con hielo y agua).

## 1.3 Observaciones:

Se llena el bote con agua a 0°C. Se coloca el bote perpendicularmente a los rayos del Sol de modo que éstos atraviesen el cristal y se absorban dentro del bote en la parte del plástico negro. Al cabo de 15 minutos se lee el incremento de temperatura que marca el termómetro.

Medid la altura del Sol durante la observación. Lo podéis hacer con la ayuda de un cuadrante, o bien mirando la longitud de la sombra de un palo clavado verticalmente en el suelo (sabiendo su altura).

Se repite la observación poniendo esta vez el bote en la sombra. De este modo se miden las pérdidas de energía del bote y la energía recibida por el entorno. El conjunto de observaciones Sol-sombra se repite dos veces para disminuir los errores de medida.

Anotad los resultados en la siguiente tabla:

	Inicial		Final		Increm. Temper.	Increm. Temper. por min.	Sol menos sombra
	Hora	Temp.	Hora	Temp.			
Sol							
Sombra							
Sol							
Sombra							

Tabla 1: Observaciones de la energía recibida del Sol.

#### 1.4 Constante solar:

El volumen  $V$  de agua, en  $\text{cm}^3$ , es:

$$V = \pi D^2 H / 4$$

Donde  $D$  es el diámetro interior del bote, y  $H$  la altura interior. Sea  $S$  el área de la superficie colectora, en  $\text{cm}^2$ :

$$S = D H$$

Sea  $\Delta T$  el incremento de temperatura por minuto (Sol menos sombra) obtenido a partir de las observaciones, en  $^\circ\text{C}/\text{min}$ , y deducido a partir de la tabla. Calculad la constante solar, o energía que recibimos, por unidad de área y unidad de tiempo (recordad que  $1 \text{ cal} = 1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}^3$ ):

$$C' = \frac{\Delta T V}{S} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$$

Corregid el valor obtenido para la masa de aire de la atmósfera, para tener en cuenta que a diferentes alturas el grosor de atmósfera que atraviesan los rayos del Sol es distinto:

$$C = C' / \sin h$$

donde  $h$  es la altura del Sol durante las observaciones.

Expresad la constante solar en  $\text{W}/\text{m}^2$  ( $1 \text{ W} = 15 \text{ cal}/\text{min}$ ).

#### 1.5 Luminosidad solar:

Imaginad una esfera alrededor del Sol, de radio  $r$  igual a la distancia Sol-Tierra (149,6 millones de km). A partir de la constante solar, ¿cuánta energía atraviesa esta esfera cada segundo?

$$L = 4 \pi r^2 C$$

Esta es la luminosidad del Sol o, dicho de otra manera, la energía producida por el Sol por unidad de tiempo.

#### 1.6 Comentarios:

Estrictamente hablando, la constante solar en la Tierra es la cantidad total de energía que llega a la parte superior de la atmósfera por unidad de área y de tiempo. El resultado obtenido en las observaciones sólo mide la radiación electromagnética que atraviesa la atmósfera. La atmósfera terrestre absorbe toda la radiación de altas frecuencias (rayos gamma, X y ultravioletas) y parte de las frecuencias más largas (rayos infrarrojos).

Está bien que el experimento lo realicen distintos alumnos de modo que tengáis bastantes medidas y podáis minimizar los errores: errores de medida de las dimensiones del bote, error en la cantidad de agua, errores en las temperaturas, etc. Si el profesor lo cree conveniente puede hacer una discusión del concepto de la media y la dispersión de los valores deducidos por distintos alumnos, del descarte de medidas muy discordantes, etc., o sea, básicamente, introducir a los alumnos a los conceptos de tratamiento estadístico de datos.

## 1.7 Aplicaciones:

Una vez calculada la constante solar podéis plantear muchas aplicaciones. Para citar algunas:

- Calculad aproximadamente el área colectora necesaria para generar la potencia eléctrica de una casa o de una ciudad.
- Comparad la energía recibida por unidad de área y de tiempo  $C'$  en distintas alturas  $h$  del Sol (con esto podéis enseñar por qué el Sol calienta más al mediodía que a primera hora de la mañana o última de la tarde).
- Sabiendo que la excentricidad de la órbita de la Tierra es de 0,0167, calculad la diferencia de energía recibida en el perigeo y en el apogeo (podréis demostrar que este efecto no es muy importante).
- Combinando los dos puntos anteriores podréis enseñar que el Sol calienta más en verano porque se sitúa a mayor altura.
- Si viviésemos en Venus, situado a una distancia del Sol de aproximadamente 0,7 veces la de la Tierra, ¿cuál sería la constante solar?
- Si viviésemos en Marte, situado a una distancia del Sol de aproximadamente 1,5 veces la de la Tierra, ¿cuál sería la constante solar?
- También podéis comparar nuestra constante solar con la que tendríamos si el Sol fuera una estrella distinta, por ejemplo Vega de 37 veces la luminosidad solar. Podéis elegir cualquier estrella. Para referencia podéis consultar:

<http://www.astro.wisc.edu/~dolan/constellations/constellations.html>



Paneles solares.

Figura sacada de <http://maryland.sierraclub.org/images/solar%20panel.JPG>

## 2. Observación de la rotación del Sol

Si mirásemos la Tierra desde el espacio podríamos observar su rotación en 24 h porque veríamos cómo los continentes, y sus montañas, valles, ríos, se van desplazando, van saliendo de la cara oculta, transitan por la cara visible y vuelven a esconderse. El Sol es una esfera de gas sin continentes, valles y montañas. Con una superficie completamente lisa no sería fácil apreciar su rotación. Pero las manchas que frecuentemente se aprecian sobre la superficie y su desplazamiento, juegan a este efecto el mismo papel que las montañas en la Tierra y nos permiten deducir como gira el Sol.

Las observaciones que proponemos aquí son parecidas a las que ya hizo Galileo Galilei en 1612.

### 2.1 Objetivos:

- Observar las manchas solares.
- Determinar la trayectoria de las manchas.
- Medir el ángulo entre el eje de rotación del Sol y de la Tierra.
- Determinar el periodo de rotación del Sol.

### 2.2 Material:

- Telescopio con pantalla solar.
- Hoja de papel con círculo graduado.
- Transparencias.
- Regla.

### 2.3 Observación:

La observación del Sol se puede hacer con cualquier telescopio colocando un filtro para proteger el ojo de la persona que observa. También se puede hacer la observación de modo más seguro recogiendo la imagen sobre una pantalla que se coloca detrás del ocular.

Sobretudo, **nunca miréis al Sol directamente a través del ocular** si no habéis puesto un filtro. Consultad: [http://www.serviastro.am.ub.es/ets2008/metod\\_cat.html](http://www.serviastro.am.ub.es/ets2008/metod_cat.html).

Si no tenéis telescopio, también podéis utilizar un “Solar scope” <http://www.solarscope.com/>. El único problema es que la imagen del Sol no se mantiene quieta y es un poco más difícil de dibujar la posición de las manchas.

Otra opción es coger las imágenes diarias que envía el satélite SOHO, una misión de las agencias espaciales americana y europea. La imagen etiquetada como “MDI Continuum” que es la que corresponde más a la imagen visual. La podéis encontrar en <http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>.

- a) Sobre la pantalla colocamos una hoja de papel blanco donde esté dibujado un círculo graduado como el de la Figura 2.1.

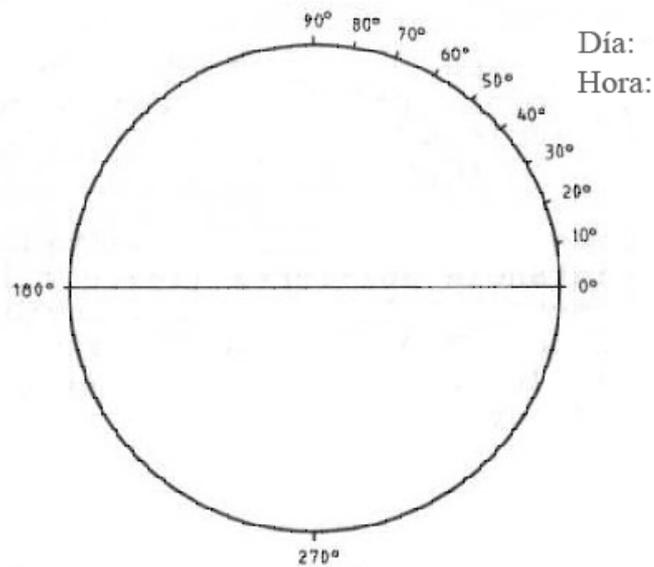


Figura 2.1: Círculo graduado para la observación de las manchas solares.

- b) Movemos la posición de la pantalla para que la imagen del Sol tenga el mismo tamaño que el círculo graduado.
- c) Orientamos la pantalla de modo que el perfil de la imagen del Sol (o una mancha bien distinguible) recorra el diámetro que pasa por los 0° (Figura 2.2).

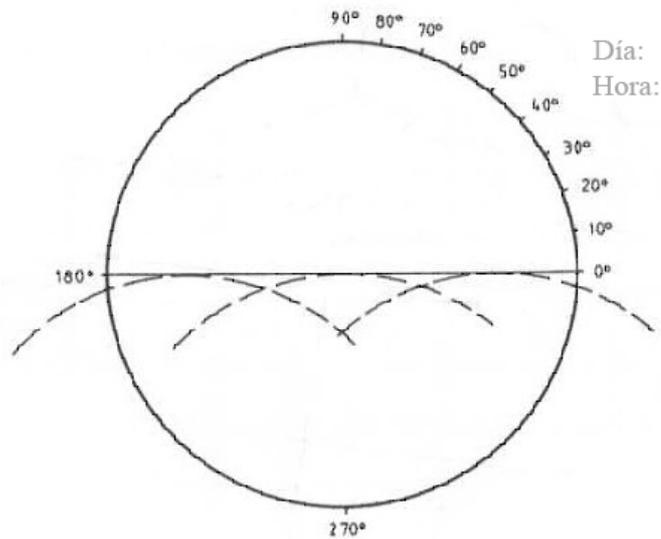
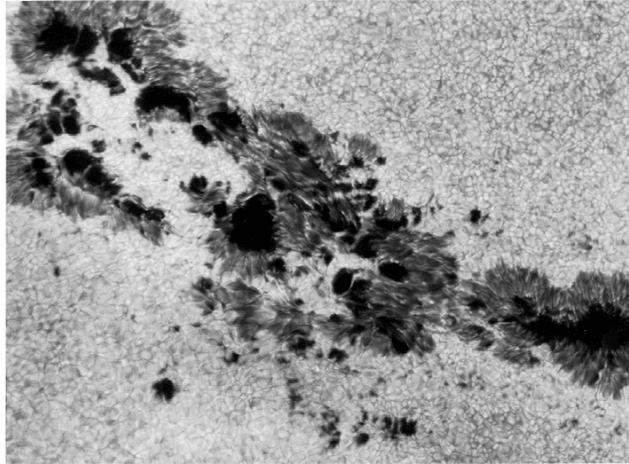


Figura 2.2: Orientación de la plantilla.

- d) Observamos las diferencias entre las manchas: aisladas, grupos de manchas, grandes, pequeñas, sólo con núcleo, con núcleo y penumbra.



Detalle de un grupo de manchas solares. Las zonas más oscuras son las más frías.  
Figura extraída de [http://galileo.rice.edu/images/things/ss\\_detailed.gif](http://galileo.rice.edu/images/things/ss_detailed.gif)

- e) Dibujamos las manchas solares sobre la plantilla y anotamos la fecha y la hora de la observación.

Esta observación se debe repetir durante 5-6 días, a ser posible a la misma hora del día aproximadamente.

## 2.4 Periodo de rotación:

Una vez hechas observaciones durante unos cuantos días, superponemos las unas con las otras.

- Observad que las manchas recorren trayectorias rectilíneas paralelas. Trazadlas.
- Trazad la perpendicular a las trayectorias rectilíneas (será la línea polo norte - polo sur). Dibujad el ecuador del Sol. (Figura 2.3).
- Observad que el ecuador del Sol no coincide con la línea  $0^\circ$ . Esto es porque el eje de rotación del Sol y el de la Tierra no tienen la misma dirección. Medid su ángulo.
- Medid la distancia  $x$  de cada mancha a la línea que pasa por los polos norte y sur. Hacedlo para cada observación. Poned los resultados para cada mancha en una celda de la tabla 2.

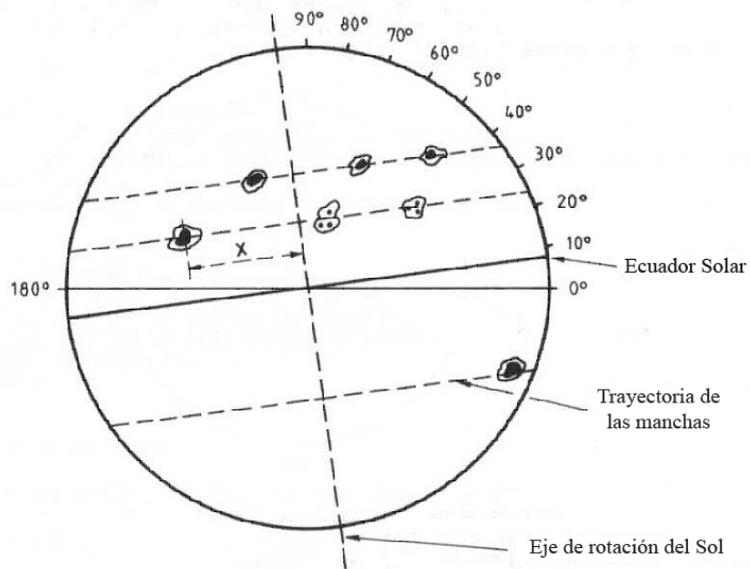


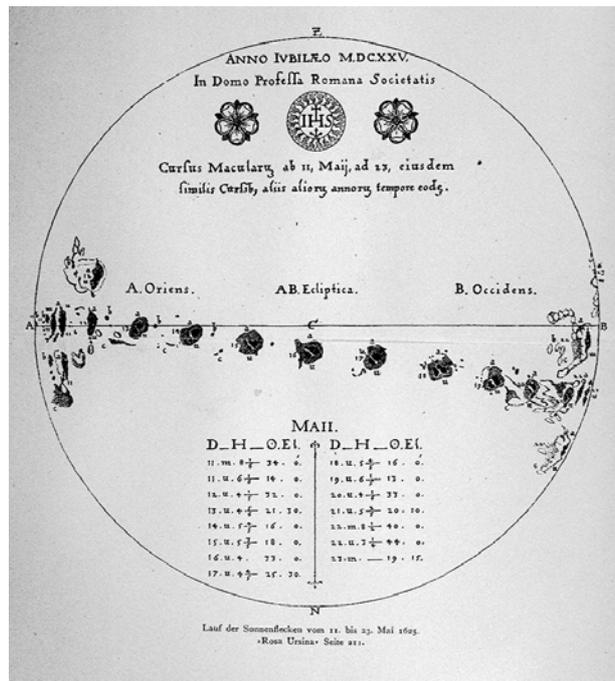
Figura 2.3: Superposición de observaciones de diferentes días.

Tabla 2: Emplazamiento de las manchas sobre la superficie del Sol en cada observación. Cada celda debe contener las distintas observaciones de una mancha.

Mancha	Día	Hora	$x$	$D/E$	$AB$	$\alpha$	$\omega$

Mancha	Día	Hora	$x$	$D/E$	$AB$	$\alpha$	$\omega$

Mancha	Día	Hora	$x$	$D/E$	$AB$	$\alpha$	$\omega$



Dibujos Rosa Ursina de Scheiner del desplazamiento de las manchas con el tiempo.  
Figura extraída de [http://galileo.rice.edu/images/things/scheiner\\_rosa\\_ursina1-l.gif](http://galileo.rice.edu/images/things/scheiner_rosa_ursina1-l.gif)

En la figura 2.4 están representadas diferentes posiciones de una mancha, vista por encima del polo norte solar y vista sobre el papel. Así pues, la posición de la mancha sobre la esfera solar, dada por el ángulo  $\alpha$ , está relacionada con la posición sobre el papel:

$$\cos \alpha = 2x / AB$$

- e) Calculad este ángulo y la distancia  $AB$  y completad la tabla 2.
- f) La velocidad de rotación de cada mancha la podemos calcular sabiendo qué ángulo ha recorrido y en qué intervalo de tiempo.

$$\text{Velocidad angular} = \Delta\alpha / \Delta t$$

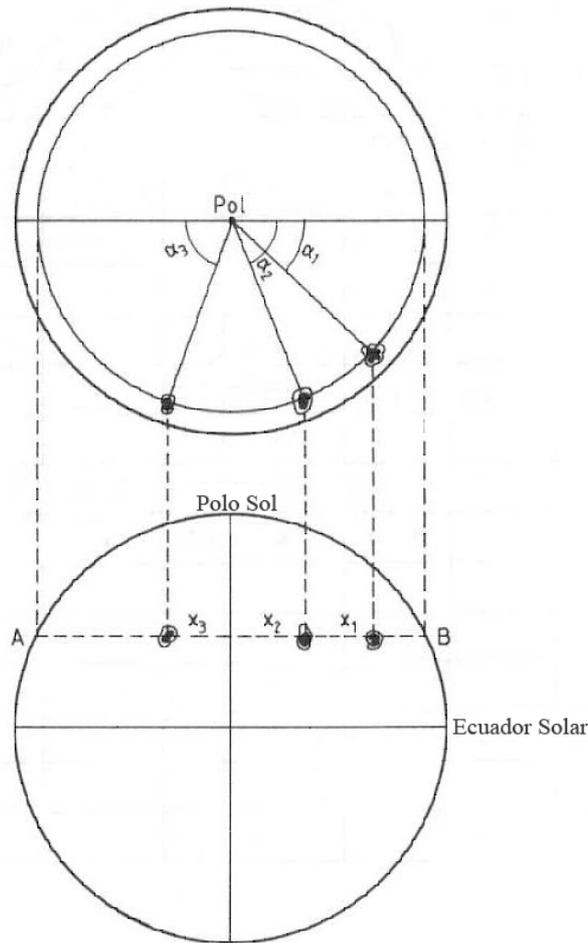


Figura 2.4: Rotación de una mancha con el tiempo.

g) Calculad el periodo de rotación.

## 2.5 Comentarios:

En el momento de elegir las manchas a dibujar y analizar es recomendable elegir manchas grandes porque son las que perduran más en el tiempo y prácticamente nos aseguramos que en los siguientes días de observación las volveremos a encontrar.

Para hacer las medidas es recomendable elegir las manchas que están más centradas en el eje, porque un mismo desplazamiento  $\Delta\alpha$  se traduce en un desplazamiento  $\Delta x$  mayor.

Está bien que el experimento lo realicen diferentes alumnos y que se utilicen distintas manchas de modo que tengáis muchas medidas y podáis minimizar los errores: errores en el dibujo de la posición de las manchas, en el trazo de las trayectorias, de medida de las distancias AB y x, etc. Si el profesor lo cree conveniente puede discutir el concepto de media y de dispersión de los valores deducidos por diferentes alumnos, del descarte de

medidas muy discordantes, etc., o sea, básicamente introducir a los alumnos a los conceptos de tratamiento estadístico de datos.

Haced notar a los alumnos la inclinación del eje de rotación del Sol respecto de nuestro ecuador. Sabiendo que nuestro ecuador está inclinado  $23,5^\circ$  respecto de la órbita alrededor del Sol, ¿qué ángulo forma el ecuador del Sol y el plano de la órbita terrestre?

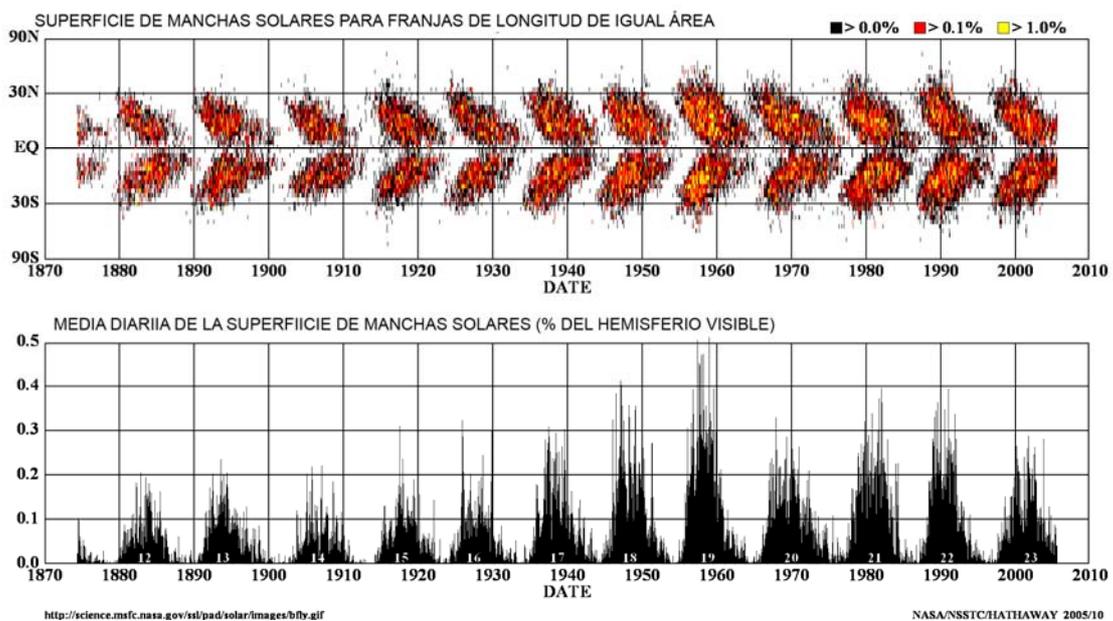
## 2.6 Actividad solar:

Las manchas del Sol son una de las manifestaciones de la actividad solar. Esta actividad no es permanente sino que tiene una periodicidad de aproximadamente 11 años. Es lo que se llama ciclo solar.

- Seleccionad en la dirección [http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data\\_query](http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query) de la misión SOHO, imágenes MDI “Continuum” de diferentes años, por ejemplo el mismo día del año, durante 11 años, o sea 11 imágenes.
- Comparad el número de manchas en las 11 imágenes, la medida de las manchas y su posición en el disco.

Con este sencillo ejercicio podéis hacer notar a los alumnos el ciclo de 11 años y el diagrama de mariposa: a veces las manchas están situadas cerca del ecuador y a veces en otras.

### SUPERFICIE DIARIA DE MANCHAS SOLARES PROMEDIADA SOBRE ROTACIÓN SOLAR



Distribución de las manchas en forma de mariposa y del ciclo de actividad solar. NASA Copyright

## 2.7 Aplicaciones:

Podéis plantear muchas aplicaciones. Para citar algunas:

- Cálculo de la velocidad lineal en la superficie del Sol, con la rotación que habéis deducido y sabiendo el radio del Sol de aproximadamente 700000 km.
- Comparad esta velocidad con la velocidad equivalente en la Tierra.
- Sabiendo la masa del Sol (aproximadamente  $2 \times 10^{30}$  kg), calculad la velocidad de escape y comparadla con la velocidad actual.
- Calculad el mínimo período de rotación (máxima velocidad) para que el Sol se mantenga como un cuerpo unido.
- A partir de las 11 imágenes anuales analizadas, haced predicciones de en qué años ocurren un máximo y un mínimo de actividad solar. Buscad imágenes de estos años y comprobadlo.

Podéis hacer notar a los alumnos que las manchas se conocen desde antes de la utilización de los telescopios porque a veces son tan grandes que se distinguen a simple vista.

## 2.8 Material adicional:

Hay muchas direcciones web donde podéis encontrar imágenes del Sol e información histórica del conocimiento y seguimiento de las manchas. En particular, citamos:

- El proyecto Galileo:  
<http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html>  
y sus dibujos de manchas solares (muy recomendable), donde además de imágenes encontraréis animaciones de la rotación.  
[http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot\\_drawings.html](http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot_drawings.html)
- Lugar web: Nineplanets:  
Donde podéis encontrar prácticamente toda la información del Sistema Solar, incluido el Sol.  
<http://www.nineplanets.org/>
- Misión SOHO: satélite conjunto de las agencias americana NASA y europea ESA que se lanzó en 1995 y que observa continuamente el Sol. Podéis utilizarlo como observatorio virtual porque proporciona imágenes cada día.  
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>
- El telescopio más grande del mundo para la observación del Sol. Tiene un metro de diámetro, es sueco y está situado en el Observatorio de Roque de los Muchachos en la isla de La Palma.  
[http://www.solarphysics.kva.se/NatureNov2002/telescope\\_eng.html](http://www.solarphysics.kva.se/NatureNov2002/telescope_eng.html)



# LA LUZ EN LA OSCURIDAD



Cúmulo de las Pléyades.

Las estrellas son enormes esferas de gas que irradian inmensas cantidades de energía. Tienden a agruparse formando cúmulos estelares.



**SONIA DUFFAU**  
ASTRONOMÍA SIN BARRERAS

Investiga en estrellas variables y evolución química en cúmulos estelares. Comprometida con el apoyo de las vocaciones científicas de las minorías, es una gran divulgadora de la astronomía entre jóvenes con discapacidad y los pueblos indígenas de Chile.



**ANNIE J. CANNON**  
MADRE DE LOS ESPECTROS ESTELARES

El sistema de clasificación de espectros estelares O,B,A,F,C,K,M se debe al estudio que realizó sobre más de 225.000 estrellas. Formó parte de las famosas astrónomas de Harvard.



**VIRGINIA TRIMBLE**  
LO SABE TODO DEL UNIVERSO

Astrónoma polifacética, publicó más de seiscientos trabajos sobre estrellas, cosmología y revisiones sobre historia y avances en astronomía. Ocupó numerosos cargos directivos en diferentes asociaciones internacionales. El asteroide 9271 lleva su nombre.



**PILAR LÓPEZ DE COCA**  
MAESTRA DE ASTRÓNOMAS/OS

Pionera del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA), determinó la relación periodo-luminosidad-color para estrellas Delta Scuti. Maestra de la primera generación de profesionales en astronomía del IAA.



PATROCINADORES



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

