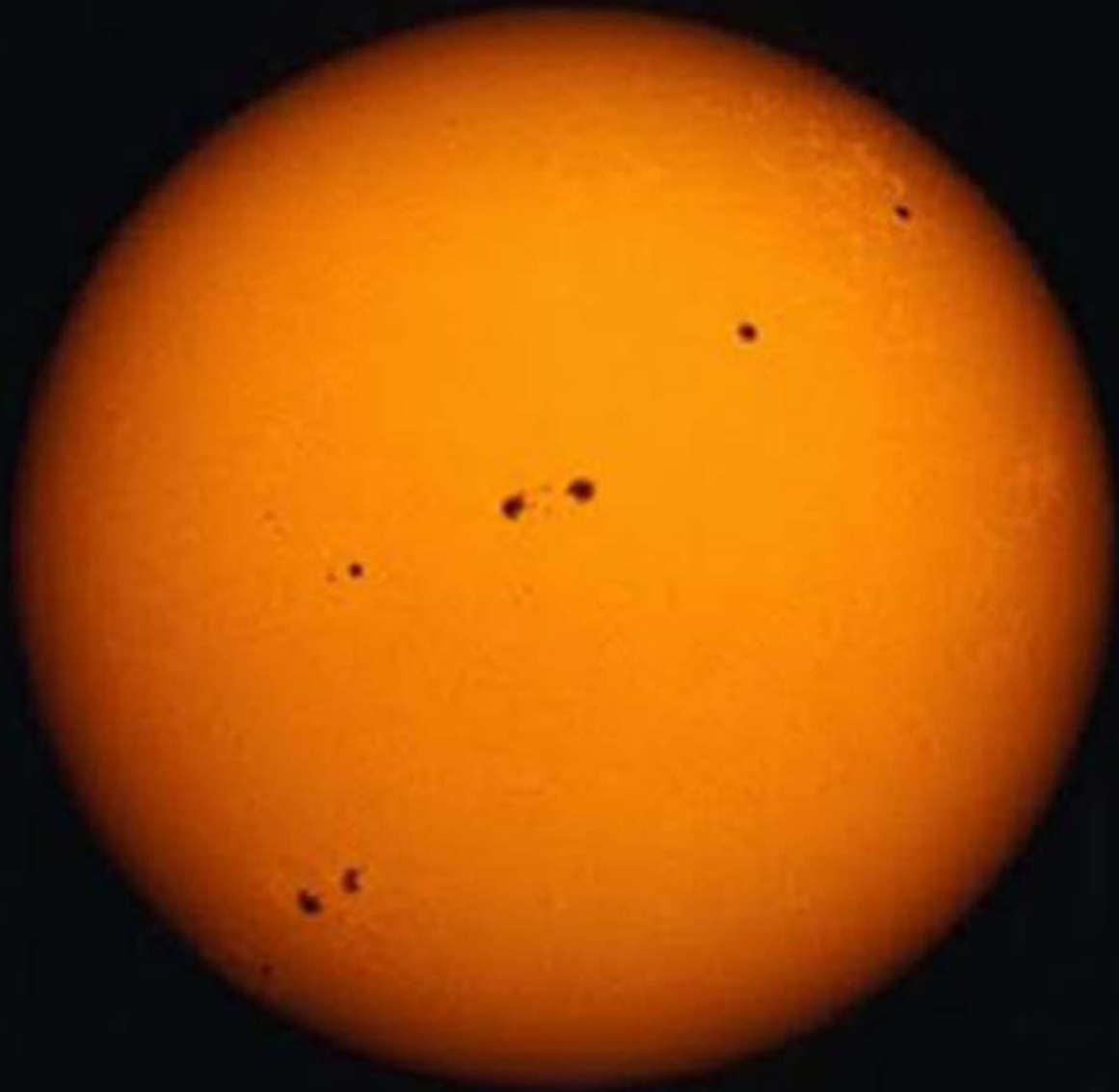


# O SOL E A ENERXÍA SOLAR



# O SOL E A ENERXÍA SOLAR

## Resumo:

Cos exercicios que se propoñen nesta unidade preténdese que os alumnos coñezan o Sol un pouco mellor.

Danse as ferramentas necesarias para calcular a enerxía solar que se recibe na Terra, a partir do simple feito de quentar un bote de auga, e para determinar a rotación do Sol, medindo as posicións das manchas solares.

## Contidos:

### 1. Medida da enerxía recibida do Sol

Observacións

Cálculo da constante solar e da luminosidade solar

Comentarios e aplicacións

### 2. Observación da rotación do Sol

Observación

Cálculo do período de rotación

Actividade solar

Aplicacións e material adicional

## Nivel:

Segundo ciclo de ESO e Bacharelato

## 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 (Departament d'astronomia i meteorologia de la UB)

Robert Estalella (Departament d'astronomia i meteorologia de la UB)



**Coordinadora apuntamentos pedagóxicos "Con A de Astrónomas":**

Josefina Ling (Universidade de Santiago)

**Axudantes de maquetación e tradución:**

Surinye Olarte Vives, Alejandra Díaz Bouza



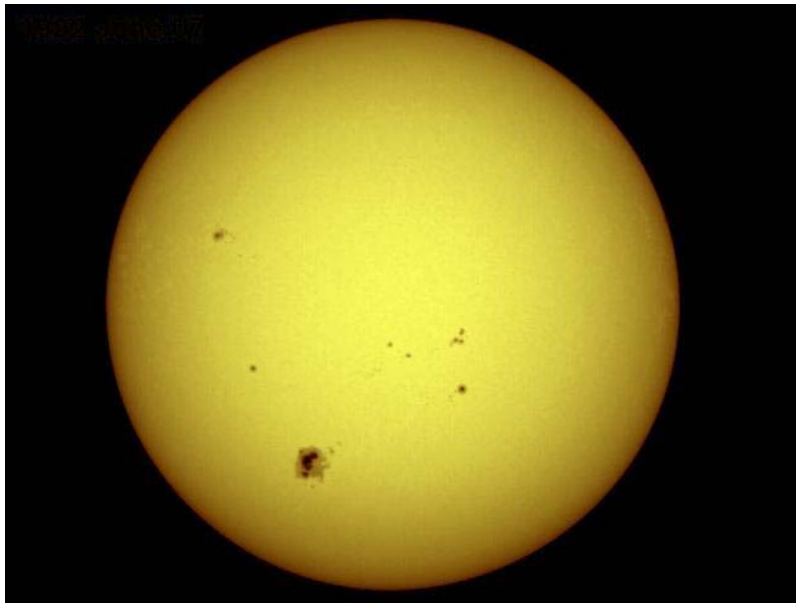
Ella es una Astrónoma



# O SOL E A ENERXÍA SOLAR

## Introdución

O Sol é a “nosa” estrela. Dela recibimos a enerxía que nos permite vivir. Cos exercicios que propomos pretendemos que os mozos e mozas o coñezan un pouco mellor. En particular, propomos que midan a enerxía que se recibe na Terra (quentando auga) e a determinación da rotación (medindo as posicións das manchas solares). A observación das manchas permite introducir os alumnos no concepto da actividade solar e o ciclo solar.



Imaxe do Sol coas manchas na superficie.  
NASA Copyright

# 1. Medida da enerxía recibida do Sol

O sinxelo exercicio de quentar auga durante un tempo fixado permite deducir a enerxía recibida e, como consecuencia, a enerxía emitida polo Sol, é dicir a súa luminosidade.

## 1.1 Obxectivos:

- Medir a cantidade de enerxía calorífica recibida pola Terra procedente do Sol.
- Calcular a constante solar.
- Relacionar a constante solar coa enerxía total producida polo Sol.

## 1.2 Material:

- Un bote de cristal cilíndrico de boca ancha, con tapa hermética (pódese aproveitar calquera bote de verdura ou legume cocido por exemplo).
- Plástico negro para cubrir a metade posterior do bote por dentro (fai falta fixar un pouco este plástico para que non quede flotando cando se poña auga dentro).
- Un termómetro para medir a temperatura da auga dentro do bote.
- Auga a cero graos (pódese conseguir cun cubo con xeo e auga).

## 1.3 Observacións:

Enchese o bote con auga a 0 °C. Colócase o bote perpendicularmente aos raios do Sol de modo que estes atravesen o cristal e se absorban dentro do bote na parte do plástico negro. Ao cabo de 15 minutos lese o incremento de temperatura que marca o termómetro.

Medide a altura do Sol durante a observación. Podédelo facer coa axuda dun cuadrante, ou ben mirando a lonxitude da sombra dun pau cravado verticalmente no chan (sabendo a súa altura).

Repítese a observación pondo esta vez o bote na sombra. Deste xeito mídense as perdas de enerxía do bote e a enerxía recibida pola contorna. O conxunto de observacións Sol-sombra repítese dúas veces para diminuír os erros de medida.

Anotade os resultados na seguinte táboa:

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

Táboa 1: observacións da enerxía recibida do Sol.

## 1.4 Constante solar:

O volume  $V$  de auga, en  $\text{cm}^3$ , é:

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

Onde  $D$  é o diámetro interior do bote, e  $H$  a altura interior. Sexa  $S$  o área da superficie colectora, en  $\text{cm}^2$ :

$$S = D H$$

Sexa  $\Delta T$  o incremento de temperatura por minuto (Sol menos sombra) obtido a partir das observacións, en  $^\circ\text{C}/\text{min}$ , e deducido a partir da táboa. Calculade a constante solar, ou enerxía que recibimos, por unidade de área e unidade de tempo (recordade que  $1 \text{ cal} = 1 ^\circ\text{C}/\text{cm}^3$ ):

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

Corrixide o valor obtido para a masa de aire da atmosfera, para ter en conta que a diferentes alturas o grosor de atmosfera que atravesan os raios do Sol é distinto:

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

onde  $h$  é a altura do Sol durante as observacións.

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

## 1.5 Luminosidade solar:

Imaxinade unha esfera ao redor do Sol, de raio  $r$  igual á distancia Sol-Terra (149,6 millóns de km). A partir da constante solar, canta enerxía atravesa esta esfera cada segundo?

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

Esta é a luminosidade do Sol ou, dito doutra maneira, a enerxía producida polo Sol por unidade de tempo.

## 1.6 Comentarios:

Estritamente falando, a constante solar na Terra é a cantidade total de enerxía que chega á parte superior da atmosfera por unidade de área e de tempo. O resultado obtido nas observacións só mide a radiación electromagnética que atravesa a atmosfera. A atmosfera terrestre absorbe toda a radiación de altas frecuencias (raios gamma, X e ultravioletas) e parte das frecuencias máis longas (raios infravermellos).

Está ben que o experimento o realicen distintos alumnos, de modo que teñades bastantes medidas e poidades minimizar os erros: erros de medida das dimensións do bote, erro na cantidade de auga, erros nas temperaturas, etc. Se o profesor o cre conveniente, pode facer unha discusión do concepto da media e a dispersión dos valores deducidos por distintos alumnos, do descarte de medidas moi discordantes, etc., é dicir, basicamente, introducir os alumnos nos conceptos de tratamento estatístico de datos.

## 1.7 Aplicacións:

Unha vez calculada a constante solar poderedes expor moitas aplicacións. Para citar algunhas:

- Calculade aproximadamente a área colectora necesaria para xerar a potencia eléctrica dunha casa ou dunha cidade.
- Comparade a enerxía recibida por unidade de área e de tempo  $C'$  en distintas alturas  $h$  do Sol (con isto poderedes ensinar por que o Sol quenta máis ao mediodía que á primeira hora da mañá ou a última da tarde).
- Sabendo que a excentricidade da órbita da Terra é de 0,0167, calculade a diferenza de enerxía recibida no perixeo e no apoxeo (poderedes demostrar que este efecto non é moi importante).
- Combinando os dous puntos anteriores poderedes ensinar que o Sol quenta máis no verán porque se sitúa a maior altura.
- Se vivísemos en Venus, situado a unha distancia do Sol de aproximadamente 0,7 veces a da Terra, cal sería a constante solar?
- Se vivísemos en Marte, situado a unha distancia do Sol de aproximadamente 1,5 veces a da Terra, cal sería a constante solar?
- Tamén poderedes comparar a nosa constante solar coa que teríamos se o Sol fose unha estrela distinta, por exemplo Vega de 37 veces a luminosidade solar. Poderedes elixir calquera estrela. Para referencia poderedes consultar:

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



Paneis solares.

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

## 2. Observación da rotación do Sol

Se mirásemos a Terra desde o espazo poderíamos observar a súa rotación en 24 h porque veríamos como os continentes, e as súas montañas, vales, ríos, se van desprazando, van saíndo da cara oculta, transitan pola cara visible e volven esconderse. O Sol é unha esfera de gas sen continentes, vales e montañas. Cunha superficie completamente lisa non sería fácil apreciar a súa rotación. Pero as manchas que frecuentemente se aprecian sobre a superficie e o seu desprazamento, xogan a este efecto o mesmo papel que as montañas na Terra e permítennos deducir como vira o Sol. As observacións que propomos aquí son parecidas ás que xa fixo Galileo Galilei en 1612.

### 2.1 Obxectivos:

- Observar as manchas solares.
- Determinar a traxectoria das manchas.
- Medir o ángulo entre o eixe de rotación do Sol e da Terra.
- Determinar o período de rotación do Sol.

### 2.2 Material:

- Telescopio con pantalla solar.
- Folla de papel con círculo graduado.
- Transparencias.
- Regra.

### 2.3 Observación:

A observación do Sol pódese facer con calquera telescopio colocando un filtro para protexer o ollo da persoa que observa. Tamén se pode facer a observación de modo máis seguro recollendo a imaxe sobre unha pantalla que se coloca detrás do ocular.

**Nunca miredes o Sol directamente a través do ocular** se non puxestes un filtro. Consultade: [http://www.serviastro.am.ub.es/ets2008/metod\\_cat.html](http://www.serviastro.am.ub.es/ets2008/metod_cat.html).

Se non tedes telescopio, tamén podedes utilizar un “Solar scope” <http://www.solarscope.com/>. O único problema é que a imaxe do Sol non se mantén quieta e é un pouco máis difícil de debuxar a posición das manchas.

Outra opción é coller as imaxes diarias que envía o satélite SOHO, unha misión das axencias espaciais americana e europea. A imaxe etiquetada como “MDI Continuum” que é a que corresponde máis á imaxe visual. Podédela atopar en <http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>.

- a) Sobre a pantalla colocamos unha folla de papel branco onde estea debuxado un círculo graduado como o da figura 2.1.

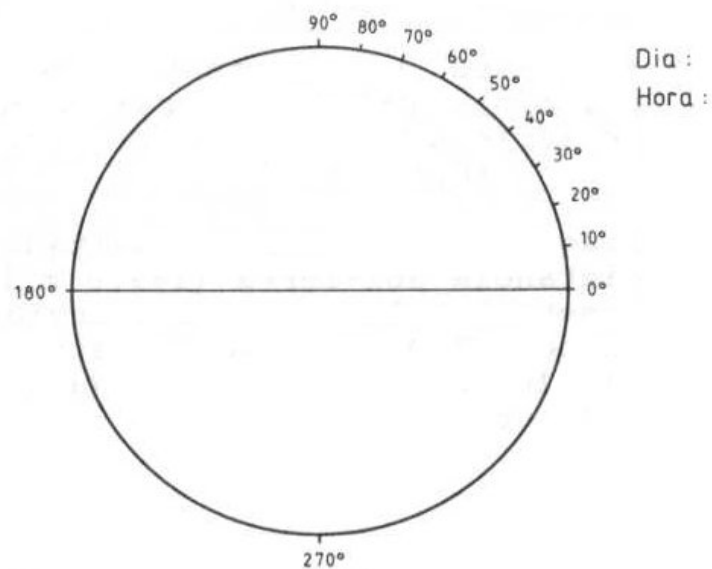


Figura 2.1: círculo graduado para a observación das manchas solares.

- b) Movemos a posición da pantalla para que a imaxe do Sol teña o mesmo tamaño que o círculo graduado.
- c) Orientamos a pantalla de modo que o perfil da imaxe do Sol (ou unha mancha ben distinguishible) percorra o diámetro que pasa polos 0° (figura 2.2).

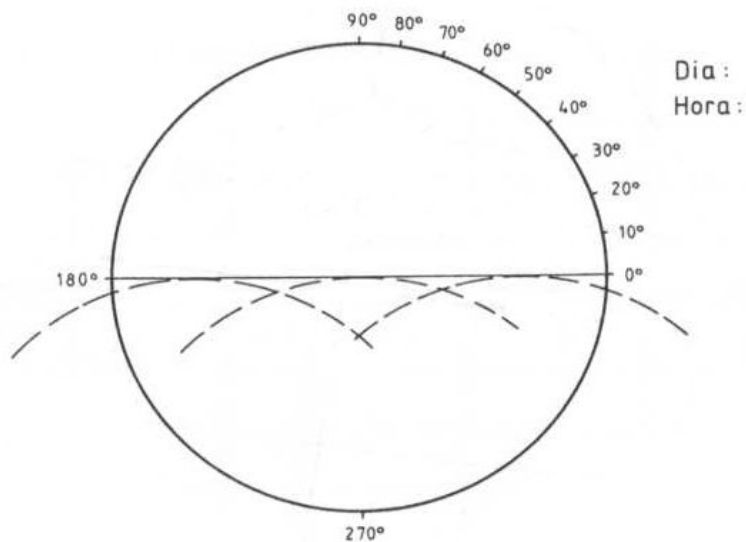
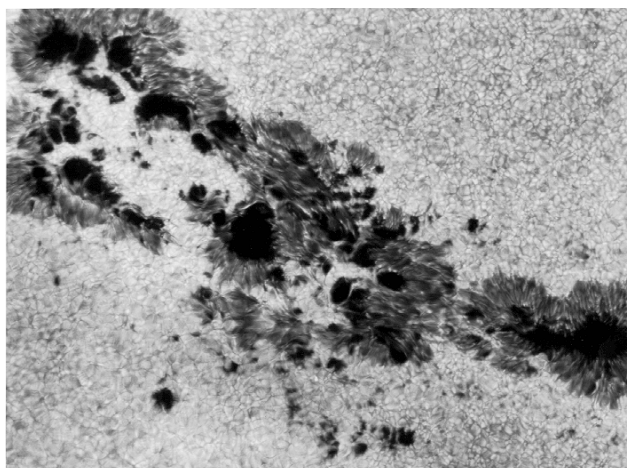


Figura 2.2: orientación do patrón.

- d) Observamos as diferenzas entre as manchas: illadas, grupos de manchas, grandes, pequenas, só con núcleo, con núcleo e penumbra.





Detalle dun grupo de manchas solares. As zonas máis escuras son as máis frías.  
 Figura extraída de [http://galileo.rice.edu/images/things/ss\\_detailed.gif](http://galileo.rice.edu/images/things/ss_detailed.gif)

- e) Debuxamos as manchas solares sobre o patrón e anotamos a data e a hora da observación.

Esta observación débese repetir durante 5-6 días, se é posible á mesma hora do día aproximadamente.

## 2.4 Período de rotación:

Unha vez feitas observacións durante uns cantos días, superpomos unhas coas outras.

- a) Observade que as manchas percorren traxectorias rectilíneas paralelas. Trazádeas.
- b) Trazade a perpendicular ás traxectorias rectilíneas (será a liña polo norte - polo sur). Debuxade o ecuador do Sol (figura 2.3).
- c) Observade que o ecuador do Sol non coincide coa liña  $0^\circ$ . Isto é porque o eixe de rotación do Sol e o da Terra non teñen a mesma dirección. Medide o seu ángulo.
- d) Medide a distancia  $x$  de cada mancha á liña que pasa polos polos Norte e Sur. Facédeo para cada observación. Ponde os resultados para cada mancha nunha cela da táboa 2.

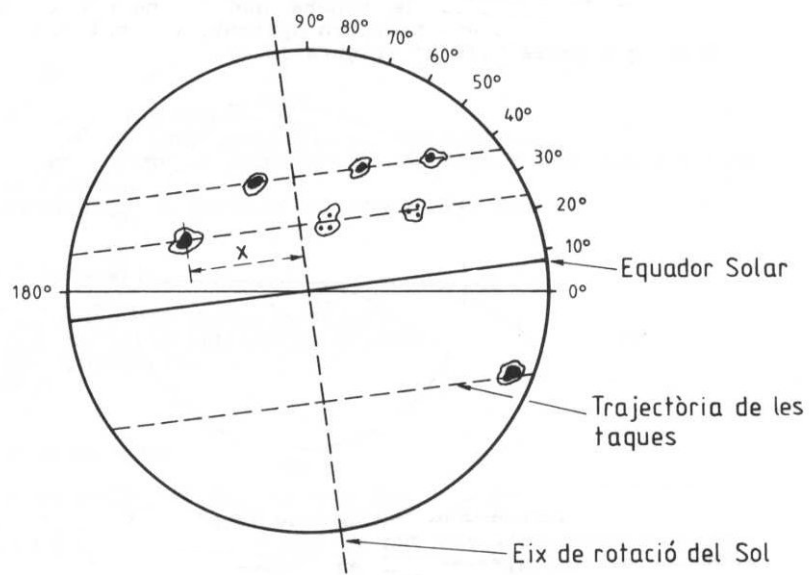


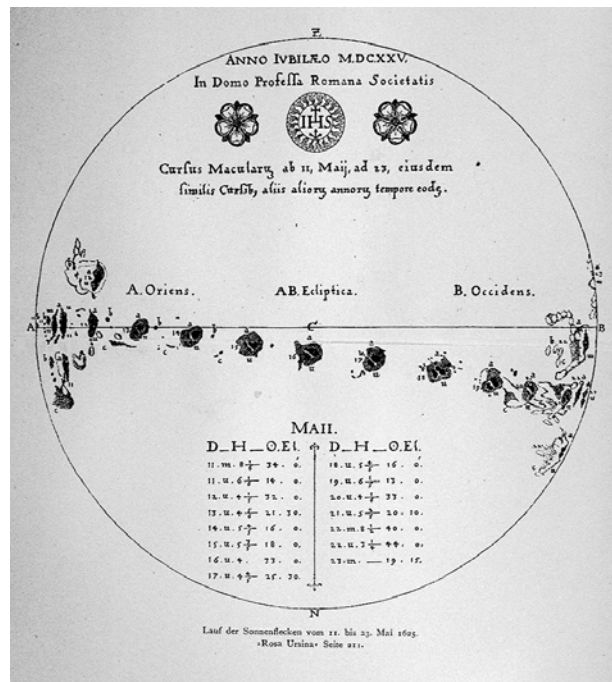
Figura 2.3: superposició de observacions de diferents dies.

Táboa 2: emprazamento das manchas sobre a superficie do Sol en cada observación. Cada cela debe conter as distintas observacións dunha mancha.

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

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

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



Debuxos Rosa Ursina de Scheiner do desprazamento das manchas co tempo.  
 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)

Na figura 2.4 están representadas diferentes posicións dunha mancha, vista por encima do Polo Norte solar e vista sobre o papel. Así pois, a posición da mancha sobre a esfera solar, dada polo ángulo  $\alpha$ , está relacionada coa posición sobre o papel:

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

- Calcule este ángulo e a distancia AB e complete a táboa 2.
- A velocidade de rotación de cada mancha podémola calcular sabendo que ángulo percorreu e en que intervalo de tempo.

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

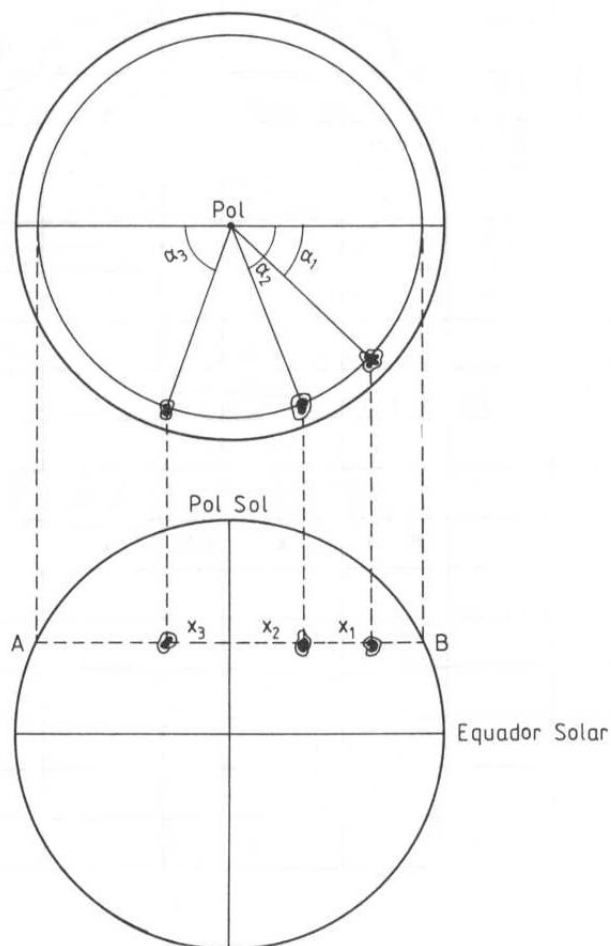


Figura 2.4: rotación dunha mancha co tempo.

g) Calcule o período de rotación.

## 2.5 Comentarios:

No momento de elixir as manchas a debuxar e analizar é recomendable elixir manchas grandes porque son as que perduran máis no tempo e practicamente asegurámonos que nos seguintes días de observación volverémolas atopar.

Para facer as medidas é recomendable elixir as manchas que están máis centradas no eixe, porque un mesmo desprazamento  $\Delta\alpha$  tradúcese nun desprazamento  $\Delta x$  maior.

Está ben que o experimento o realicen diferentes alumnos e que se utilicen distintas manchas de modo que teñades moitas medidas e poidades minimizar os erros: erros no debuxo da posición das manchas, no trazo das traxectorias, de medida das distancias AB e  $x$ , etc. Se o profesor o cre conveniente pode discutir o concepto de media e de dispersión dos valores deducidos por diferentes alumnos, do descarte de medidas moi discordantes, etc., é dicir, basicamente introducir os alumnos nos conceptos de tratamento estatístico de datos.

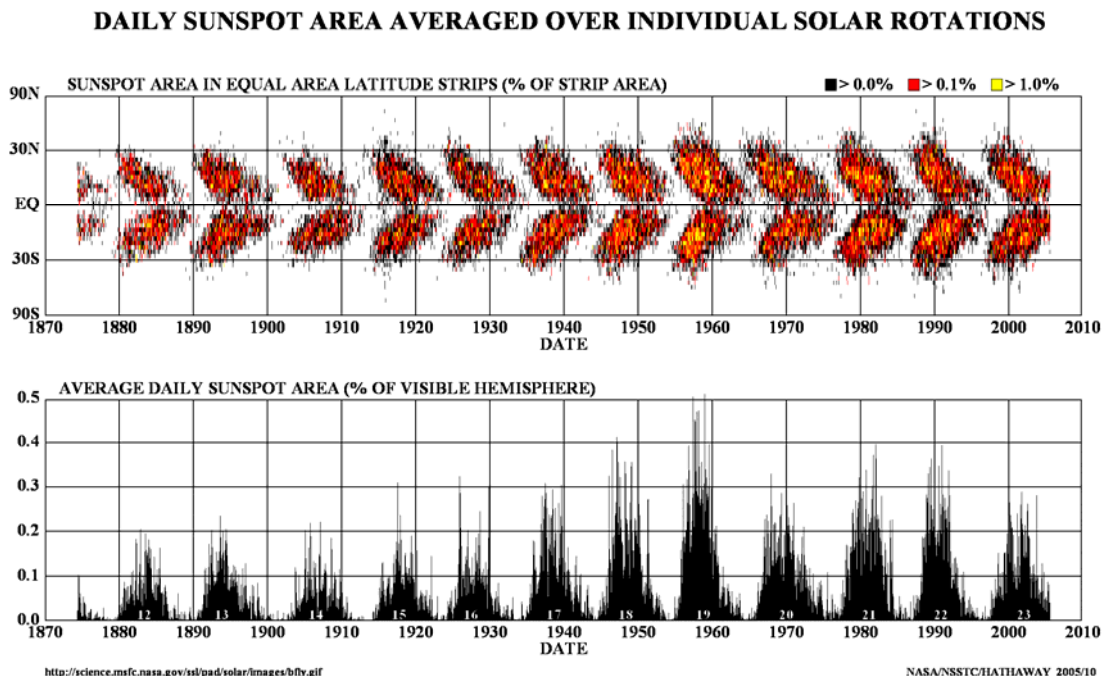
Facede notar aos alumnos a inclinación do eixe de rotación do Sol respecto do noso ecuador. Sabendo que o noso ecuador está inclinado  $23,5^\circ$  respecto da órbita ao redor do Sol, que ángulo forma o ecuador do Sol e o plano da órbita terrestre?

## 2.6 Actividade solar:

As manchas do Sol son unha das manifestacións da actividade solar. Esta actividade non é permanente senón que ten unha periodicidade de aproximadamente 11 anos. É o que se chama ciclo solar.

- Seleccionade na dirección [http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data\\_query](http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query) da misión SOHO, imaxes MDI "Continuum" de diferentes anos, por exemplo o mesmo día do ano, durante 11 anos, é dicir 11 imaxes.
- Comparede o número de manchas nas 11 imaxes, a medida das manchas e a súa posición no disco.

Con este sinxelo exercicio podedes facer notar aos alumnos o ciclo de 11 anos e o diagrama de bolboreta: ás veces as manchas están situadas preto do ecuador e ás veces noutras.



Distribución das manchas en forma de bolboreta e do ciclo de actividade solar. NASA Copyright

## 2.7 Aplicacións:

Podedes expor moitas aplicacións. Para citar algunhas:

- Cálculo da velocidade lineal na superficie do Sol, coa rotación que deducistes e sabendo o raio do Sol de aproximadamente 700.000 km.
- Compare esta velocidade coa velocidade equivalente na Terra.
- Sabendo a masa do Sol (aproximadamente  $2 \times 10^{30}$  kg), calculade a velocidade de escape e comparádeas coa velocidade actual.
- Calculade o mínimo período de rotación (máxima velocidade) para que o Sol se manteña como un corpo unido.
- A partir das 11 imaxes anuais analizadas, facede predicións de en que anos ocorren un máximo e un mínimo de actividade solar. Buscade imaxes destes anos e comprobádeo.

Podedes facer notar aos alumnos que as manchas se coñecen desde antes da utilización dos telescopios porque ás veces son tan grandes que se distinguen a primeira ollada.

## 2.8 Material adicional:

Hai moitas direccións web onde podedes atopar imaxes do Sol e información histórica do coñecemento e seguimento das manchas. En particular, citamos:

- O proxecto Galileo:  
<http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html>  
e os seus debuxos de manchas solares (moi recomendable), onde ademais de imaxes atoparedes animacións da rotación.  
[http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot\\_drawings.html](http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot_drawings.html)
- Lugar web: Nineplanets:  
Onde podedes atopar practicamente toda a información do Sistema Solar, incluído o Sol.  
<http://www.nineplanets.org/>
- Misión SOHO: satélite conxunto das axencias americana NASA e europea ESA que se lanzou en 1995 e que observa continuamente o Sol. Podedes utilizalo como observatorio virtual porque proporciona imaxes cada día.  
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>
- O telescopio máis grande do mundo para a observación do Sol. Ten un metro de diámetro, é sueco e está situado no Observatorio de Roque de los Muchachos na illa da Palma.  
[http://www.solarphysics.kva.se/NatureNov2002/telescope\\_eng.html](http://www.solarphysics.kva.se/NatureNov2002/telescope_eng.html)