

EL SOL I L'ENERGIA SOLAR



EL SOL I L'ENERGIA SOLAR

Resum:

Amb els exercicis que es proposen en aquesta unitat es pretén que els alumnes coneguin el Sol una mica millor. Es donen les eines necessàries per a calcular l'energia solar que es rep a la Terra a partir del simple fet d'escalfar un pot d'aigua i, per a determinar la rotació del Sol mesurant les posicions de les taques solars.

Continguts:

1. Mesura de l'energia rebuda del Sol

Observacions

Càlcul de la constant solar i de la lluminositat solar

Comentaris i aplicacions

2. Observació de la rotació del Sol

Observació

Càlcul del període de rotació

Activitat solar

Aplicacions i material addicional

Nivell:

Segon cicle d'ESO y batxillerat

Referència:

L'astronomia a les aules. Manual didàctic per a educació primària i secundària

www.astronomia2009.cat/bin/view/Main/Recursos#Manual_didactic_L_astronomia_a_l

Autors:

Carme Jordi (Departament d'Astronomia y Meteorologia de la Universitat de Barcelona)

Robert Estalella (Departament d'Astronomia y Meteorologia de la Universitat de Barcelona)

Coordinadora apunts pedagògics "Con A de Astrónomas":

Josefina F. Ling (Universitat de Santiago)

Ajudants de maquetació y traducció:

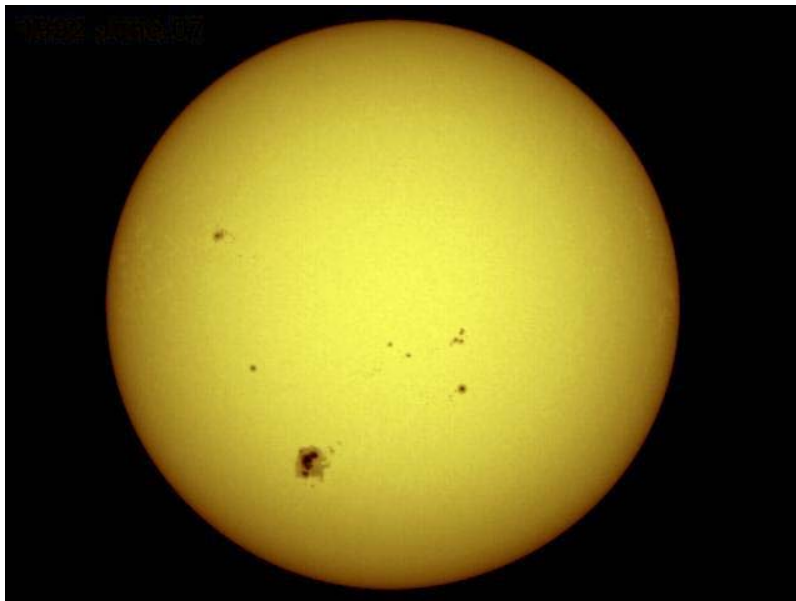
Surinye Olarte Vives, Alejandra Díaz Bouza



EL SOL I L'ENERGIA SOLAR

Introducció

El Sol és la “nostra” estrella. En rebem l'energia que ens permet viure. Amb els exercicis que proposem pretenem que els nois i les noies el coneguin una mica millor. En particular, proposem que mesurin l'energia que es rep a la Terra (escalfant aigua) i la determinació de la rotació (mesurant les posicions de les taques solars). L'observació de les taques permet introduir als alumnes el concepte de l'activitat solar i el cicle solar.



Imatge del Sol amb taques a la superfície.
NASA Copyright

1. Mesura de l'energia rebuda del Sol

El senzill exercici d'escalfar aigua durant un temps fixat permet deduir l'energia rebuda i com a conseqüència l'energia emesa pel Sol, o sigui la seva lluminositat.

1.1 Objectius:

- Mesurar la quantitat d'energia calorífica rebuda per la Terra procedent del Sol.
- Calcular la constant solar.
- Relacionar la constant solar amb l'energia total produïda pel Sol.

1.2 Material:

- Un pot de vidre cilíndric de broc ample, amb tapa hermètica (es pot aprofitar qualsevol pot de verdura o llegum cuit per exemple)
- Plàstic negre per cobrir la meitat posterior del pot, per dintre (cal enganxar una mica aquest plàstic perquè no quedi surant quan es posi l'aigua dins)
- Un termòmetre per mesurar la temperatura de l'aigua dintre del pot
- Aigua a zero graus (es pot aconseguir amb una galleda d'aigua i gel)

1.3 Observacions:

S'omple el pot d'aigua a 0°C. Es col·loca el pot perpendicularment al Sol, de manera que els raigs de Sol travessin el vidre i s'absorbeixin dintre del pot, a la part del plàstic negre. Al cap de 15 minuts, es llegeix l'increment de temperatura que marca el termòmetre.

Mesureu l'altura del Sol durant l'observació. Ho podeu fer amb l'ajuda d'un quadrant, o bé mirant la llargada de l'ombra d'un pal clavat a terra verticalment (sabent-ne l'alçada).

Es repeteix l'observació, posant aquest cop el pot a l'ombra. D'aquesta manera es mesuren les pèrdues d'energia del pot i la rebuda d'energia per l'entorn. El conjunt d'observacions sol-ombra es repeteix dos cops per disminuir els errors de mesura. Anoteu els resultats a la taula següent:

	Inicial		Final		Increm. Temper.	Increm. Temper. per min.	Sol menys ombra
	Hora	Temp.	Hora	Temp.			
Sol							
Ombra							
Sol							
Ombra							

Taula 1: Observacions de l'energia rebuda del Sol

1.4 Constant solar:

El volum V el volum d'aigua, en cm^3 és:

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

on D és el diàmetre interior del pot, i H l'alçada interior. Sigui S l'àrea de la superfície col·lectora, en cm^2 :

$$S = D H$$

Sigui ΔT l'increment de temperatura per minut (Sol menys ombra) obtingut a partir de les observacions, en $^\circ\text{C}/\text{min}$, i deduït a partir de la taula. Calculeu la constant solar o energia que rebem per unitat d'àrea i unitat de temps (recordeu que $1 \text{ cal} = 1 \text{ }^\circ\text{C} / \text{cm}^3$):

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

Corregiu el valor obtingut per la massa d'aire de l'atmosfera, per tenir en compte que a diferent alçades el gruix d'atmosfera que els rajos de Sol travessen és diferent:

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

on h és l'altura del Sol durant les observacions.

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

1.5 Lluminositat solar:

Imagineu una esfera al voltant del Sol, de radi r igual a la distància Sol-Terra (149,6 milions de km). A partir de la constant solar, quanta energia travessa aquesta esfera cada segon?

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

Aquesta és la lluminositat del Sol, o dit d'una altra manera l'energia produïda pel Sol per unitat de temps.

1.6 Comentaris:

Estrictament parlant, la constant solar a la Terra és la quantitat total d'energia que per unitat d'àrea i de temps. El resultat obtingut a les observacions només mesura la radiació electromagnètica que travessa l'atmosfera. L'atmosfera terrestre absorbeix tota la radiació d'altres freqüències (rajos gamma, X i ultraviolats) i part de les freqüències més llargues (rajos infrarojos).

És bo que l'experiment el realitzin diversos alumnes de manera que tingueu força mesures i pugueu minimitzar els errors: errors de mesura de les dimensions del pot, error en la quantitat d'aigua, errors en les temperatures, etc. Si el professor ho creu convenient pot fer una discussió del concepte de la mitjana i la dispersió dels valors deduits per diversos alumnes, del rebuig de mesures molt discordants, etc, o sigui bàsicament introduir els alumnes als conceptes de tractament estadístic.

1.7 Aplicacions:

Un cop calculada la constant solar podeu plantejar un munt d'aplicacions. Per citar-ne algunes:

- Calculeu aproximadament l'àrea col·lectora necessària per generar la potència elèctrica d'una casa, d'una ciutat.
- Compareu l'energia rebuda per unitat d'àrea i de temps C' a diferents alçades h del Sol (amb això podeu ensenyar perquè el Sol escalfa més al migdia que a primera hora del matí o darrera hora de la tarda)
- Sabent que l'excentricitat de l'òrbita de la Terra és de 0,0167, calculeu la diferència d'energia rebuda al perigeu i a l'apogeu (podreu demostrar que aquest efecte no és gaire important)
- Combinant els dos punts anteriors podreu ensenyar que el Sol escalfa més a l'estiu perquè es situa a major alçada
- Si visquéssim a Venus, situat a una distància del Sol d'aproximadament 0,7 vegades la de la Terra, quina seria la constant solar ?
- Si visquéssim a Mart, situat a una distància del Sol d'aproximadament 1,5 vegades la de la Terra, quina seria la constant solar ?
- També podeu comparar la nostra constant solar amb la que tindríem si el Sol fos una estrella diferent, per exemple Vega de 37 vegades la lluminositat solar, Procyon de 7 vegades la lluminositat solar. Podeu triar qualsevol estrella. Per referència podeu consultar:

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



Panels solars

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

2. Observació de la rotació del Sol

Si ens miréssim la Terra des de l'espai podríem observar la seva rotació en 24 h perquè veuríem com els continents, i les seves muntanyes, valls, rius es van desplaçant, van sorgint de la cara amagada, transiten per la cara visible i tornen a amagar-se. El Sol és una esfera de gas sense continents, valls i muntanyes. Amb una superfície completament llisa no seria fàcil apreciar-ne la rotació. Tanmateix, les taques que sovint hi són presents i el seu desplaçament, juguen el mateix paper i ens permeten deduir com gira el Sol. Les observacions que proposem aquí són semblants a les que ja va fer en Galileu Galilei el 1612.

2.1 Objectius:

- Observar les taques solars.
- Determinar la trajectòria de les taques.
- Mesurar l'angle entre l'eix de rotació del Sol i el de la Terra.
- Determinar el període de rotació del Sol.

2.2 Material:

- Telescopi amb pantalla solar.
- Full de paper amb cercle graduat.
- Transparències.
- Regle.

2.3 Observació:

L'observació del Sol es pot fer amb qualsevol telescopi col·locant a l'objectiu un filtre per protegir l'ull de la persona que observa. També es pot fer l'observació de manera més segura recollint la imatge sobre una pantalla que es col·loca darrere l'ocular.

Sobretot, **MAI no mireu el Sol directament a través de l'ocular** sinó heu posat un filtre.

Consulteu: http://www.serviastro.am.ub.es/ets2008/metod_cat.html

Si no teniu telescopi, també podeu fer servir un "Solar scope" <http://www.solarscope.com/>

L'únic problema és que la imatge del Sol no es manté quieta i és una mica més difícil de dibuixar la posició de les taques.

Una altra opció és agafar les imatges diàries que envia el satèl·lit SOHO, una missió de les agències espacials americana i europea. La imatge etiquetada com "MDI Continuum" que és la que es correspon més a la imatge visual. La podeu trobar a

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>

- a) Sobre la pantalla col·loquem un full de paper blanc on hi hagi dibuixat un cercle graduat com el de la Figura 2.1

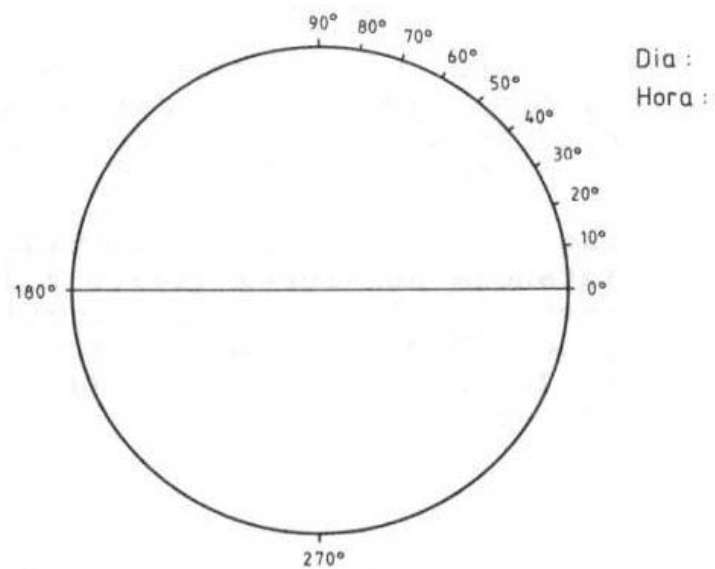


Figura 2.1: Cercle graduat per a l'observació de les taques solars

- b) Movem la posició de la pantalla per tal que la imatge del Sol tingui la mateixa grandària que el cercle graduat.
- c) Orientem la pantalla de manera que el perfil de la imatge del Sol (o una taca ben aparent) recorri el diàmetre que passa pels 0° (Figura 2.2).

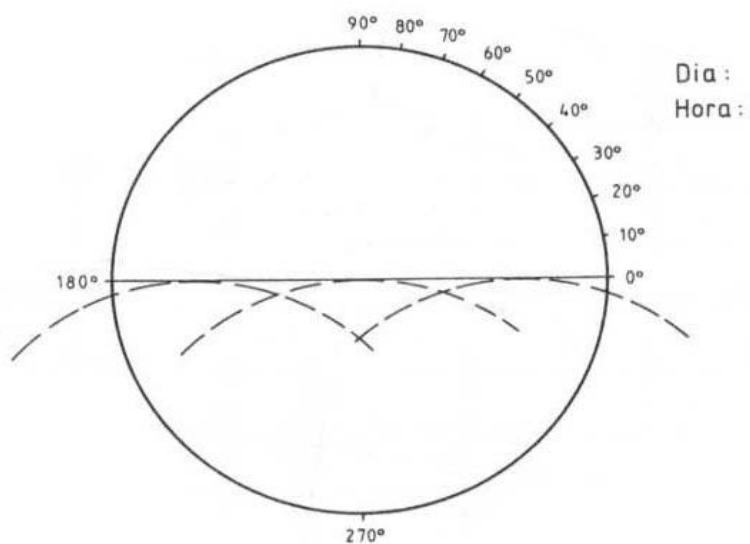
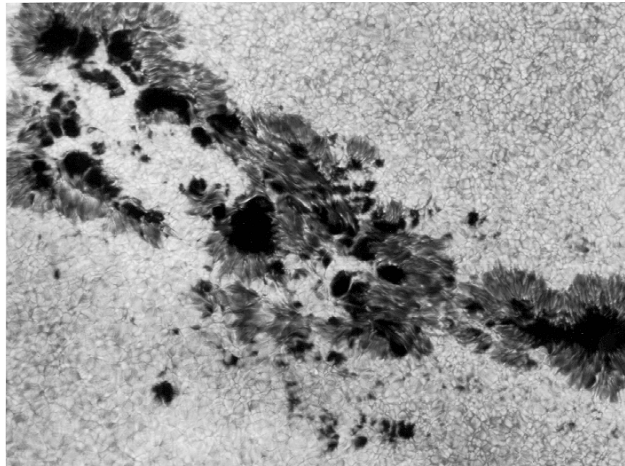


Figura 2.2: Orientació de la plantilla

- d) Observem les diferències entre les taques: isolades, grups de taques, grans, petites, només amb nucli, amb nucli i penombra.



Detall d'un grup de taques solars. Les zones més fosques són les més fredes

Figura extreta de http://galileo.rice.edu/images/things/ss_detailed.gif

- e) Dibuixem les taques solars sobre la plantilla i anotem la data i l'hora de l'observació.

Aquesta observació s'ha de repetir durant 5-6 dies, a ser possible a la mateixa hora del dia aproximadament.

2.4 Període de rotació:

Un cop fetes observacions durant uns quants dies, superposem les unes amb les altres.

- Observeu que les taques recorren trajectòries rectilínies paral·leles. Traceu-les.
- Traceu la perpendicular a les trajectòries rectilínies (serà la línia pol nord – pol sud). Dibuixeu l'equador del Sol (Figura 2.3).
- Observeu que l'equador del Sol no coincideix amb la línia 0° . Això és perquè l'eix de rotació del Sol i el de la Terra no tenen la mateixa direcció. Mesureu-ne l'angle.
- Mesureu la distància x de cada taca a la línia que passa pels pols nord i sud. Feu-ho per a cada observació. Poseu els resultats per a cada taca a una caixa de la taula 2.

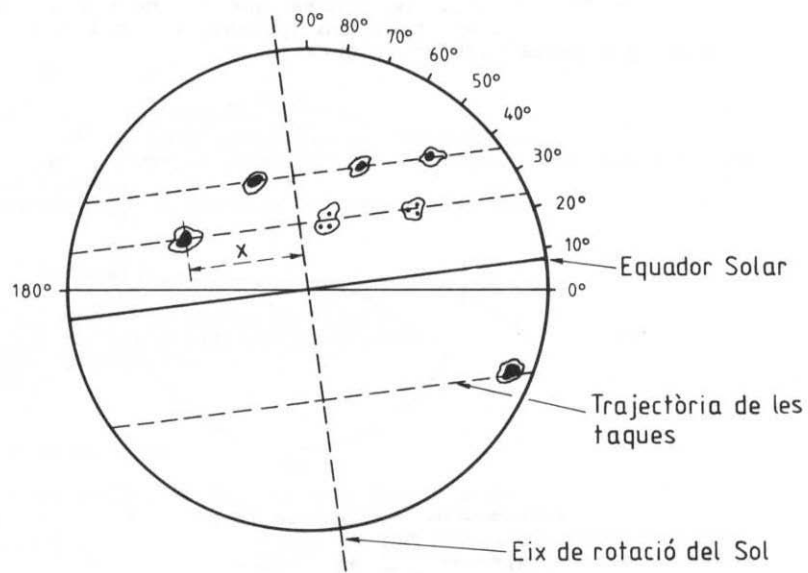


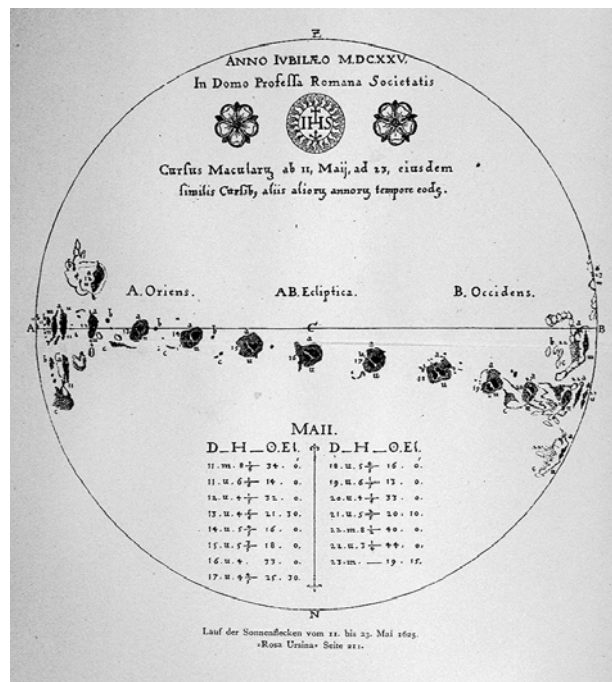
Figura 2.3: Superposició d'observacions de diferents dies

Taula 2: Emplaçament de les taques sobre la superfície del Sol a cada observació. Cada caixa ha de contenir les diverses observacions d'una taca

Taca	Dia	Hora	x	D/E	AB	α	ω

Taca	Dia	Hora	x	D/E	AB	α	ω

Taca	Dia	Hora	x	D/E	AB	α	ω



Dibuixos Rosa Ursina de Scheiner del desplaçament de les taques amb el temps
 Figura extreta de http://galileo.rice.edu/images/things/scheiner_rosa_ursina1-l.gif

A la figura 2.4 hi ha representades diferents posicions d'una taca, vista per sobre del pol nord solar i vista sobre el paper. Així doncs, la posició de la taca sobre l'esfera solar, donada per l'angle α , està relacionada amb la posició sobre el paper:

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

- Calculeu aquest angle i la distància AB i completeu la taula 2
- La velocitat de rotació de cada taca la podem calcular sabent quin angle ha recorregut i en quin interval de temps

$$Velocitat angular = \Delta\alpha / \Delta t$$

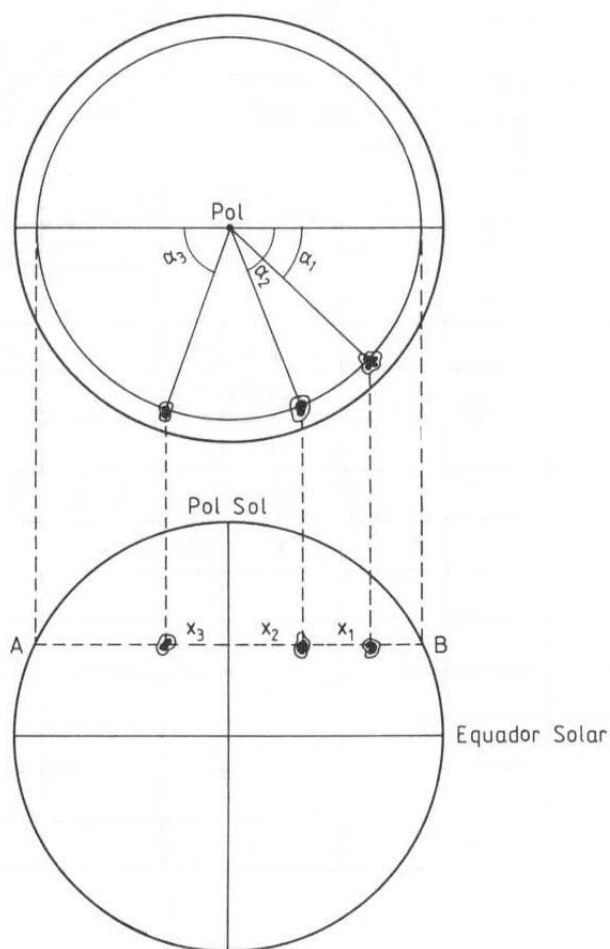


Figura 2.4: Rotació d'una taca amb el temps

g) Calculeu el període de rotació.

2.5 Comentaris:

A l'hora de triar les taques per dibuixar i per analitzar és recomanable triar taques més aviat grans perquè són les que perduren més amb el temps i pràcticament ens assegurem que els següents dies d'observació les tornarem a trobar.

Per a fer les mesures és recomanable triar les taques que estan més centrades a l'eix, perquè un mateix desplaçament $\Delta\alpha$ es tradueix en un desplaçament Δx més gran.

És bo que l'experiment el realitzin diversos alumnes i que es facin servir diverses taques de manera que tinguin força mesures i puguin minimitzar els errors: errors en el dibuix de la posició de les taques, en traçar les trajectòries, de mesura de les distàncies AB i x , etc. Si el professor ho creu convenient pot fer una discussió del concepte de la mitjana i la dispersió dels valors deduïts per diversos alumnes, del rebuig de mesures molt

discordants, etc, o sigui bàsicament introduir els alumnes als conceptes de tractament estadístic.

Feu notar als alumnes la inclinació de l'eix de rotació del Sol respecte del nostre equador. Sabent que el nostre equador està inclinat un $23,5^\circ$ respecte de l'òrbita al voltant del Sol, quin angle forma l'equador del Sol i el pla de l'òrbita terrestre ?

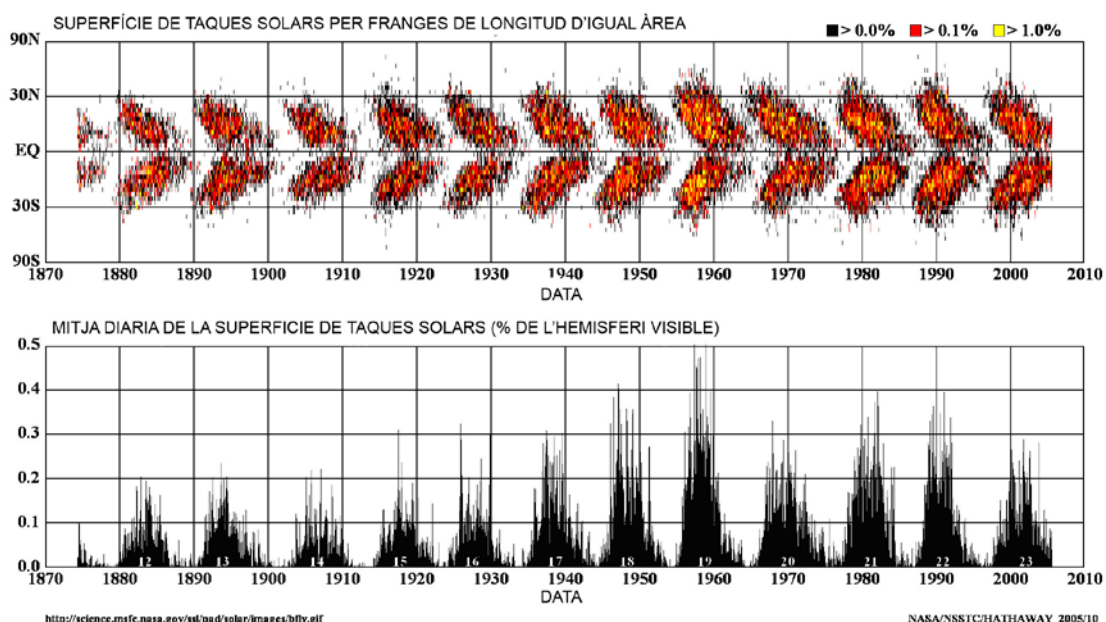
2.6 Activitat solar:

Les taques del Sol són una de les manifestacions de l'activitat solar. Aquesta activitat no és permanent sinó que té una periodicitat d'aproximadament 11 anys. És el que s'anomena cicle solar.

- Seleccioneu a l'adreça http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query de la missió SOHO, imatges MDI "Continuum" de diversos anys, per exemple el mateix dia de l'any, durant 11 anys, o sigui 11 imatges
- Compareu el nombre de taques en les 11 imatges, la mida de les taques i la seva posició en el disc.

Amb aquest senzill exercici podeu fer notar els alumnes el cicle de 11 anys i el diagrama de papallona: de vegades les taques estan situades prop de l'equador i de vegades a altes latituds.

SUPERFÍCIE DIÀRIA DE TAQUES SOLARS PROMITGADA SOBRE LA ROTACIÓ SOLAR



Distribució de les taques en forma de papallona i cicle d'activitat solar. NASA Copyright

2.7 Aplicacions:

Podeu plantejar un munt d'aplicacions. Per citar-ne algunes:

- Càlcul de la velocitat lineal a la superfície del Sol, amb la rotació que heu deduït i sabent el radi del Sol d'aproximadament 700000 km
- Compareu aquesta velocitat amb la velocitat equivalent a la Terra
- Sabent la massa del Sol (aproximadament 2×10^{30} kg) calculeu la velocitat d'escapament i compareu-la amb la velocitat actual
- Calculeu el mínim període de rotació (màxima velocitat) per tal que el Sol es mantingui com un cos unit
- A partir de les 11 imatges anuals analitzades, feu prediccions de en quins anys ocorren el màxim i mínim d'activitat solar. Busqueu imatges d'aquests anys i comproveu-ho

Podeu fer notar als alumnes que les taques es coneixen des d'abans de la utilització de telescopis perquè de vegades són tan grans que es distingeixen a ull nu.

2.8 Material adicional:

Hi ha força adreces web on podeu trobar imatges del Sol i informació històrica del coneixement i seguiment de les taques. En particular, citem:

- EL projecte Galileo:
<http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html>
i els seus dibuixos de taques solars (molt recomanable), on a més d'imatges trobareu animacions de la rotació
http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot_drawings.html
- Lloc web: Nineplanets:
On podeu trobar pràcticament tota la informació del Sistema Solar, inclòs el Sol
<http://www.nineplanets.org/>
- Missió SOHO: satèl·lit conjunt de les agències americana NASA i europea ESA que es va llançar el 1995 i que observa contínuament el Sol. Podeu utilitzar-lo com a observatori virtual perquè proporciona imatges cada dia.
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>
- Telescopi més gran del món per a l'observació del Sol. Té un metre de diàmetre, és suec i està situat a l'Observatori del Roque de los Muchachos a l'illa de La Palma.
http://www.solarphysics.kva.se/NatureNov2002/telescope_eng.html