



Caso Científico CESAR

Siguiendo manchas solares

Usando manchas solares para calcular la rotación del Sol

Guía del profesor

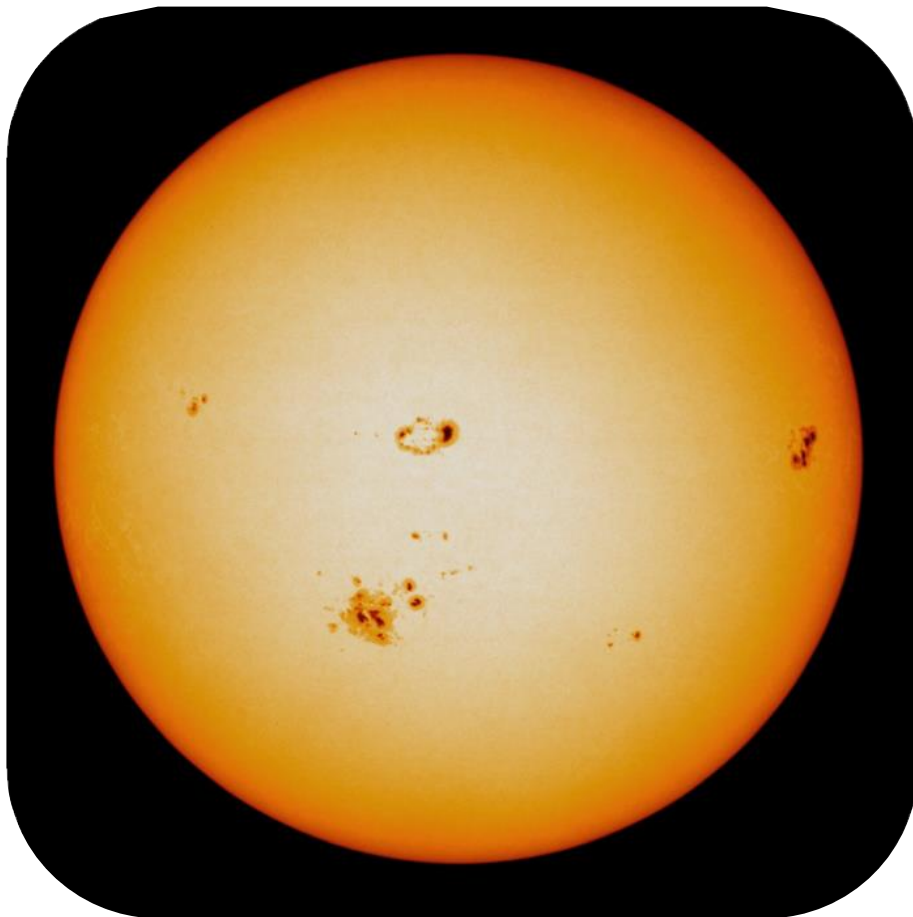






Tabla de Contenidos

Ficha didáctica	5
Resumen de actividades	7
Introducción	8
Fundamentos teóricos	8
Actividad 1: Conociendo al Sol	10
Actividad 2: Cálculo de la rotación del Sol	12
Hipótesis.....	13
Ejercicio.....	14
Conclusiones.....	18
Actividad 3: La Rotación del Sol a diferentes latitudes	19
Links	20





Ficha didáctica

DATOS BÁSICOS

Rango de edades: 12-16

Tipo: Práctica

Complejidad: Media

Tiempo de preparación: 30 minutos

Tiempo lectivo requerido: 1 hora

Ubicación: Interior

Incluye el uso de: Ordenadores, Internet

Resumen

En esta actividad, los alumnos miden el período de rotación del Sol siguiendo el movimiento de manchas solares a distintas latitudes. Para ello emplean imágenes tomadas con CESO (CESAR ESAC Solar Observatory) para medir la posición de las manchas y estimar su velocidad. Comparando diferentes medidas, pueden ver cómo la velocidad de rotación depende de la latitud solar.

Currículum

Física

- El método científico.
- Utilización de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación.
- Distintos estados de la materia (sólido, gas) y gas ionizado o plasma.
- Velocidad.

Matemáticas

- Habilidad de llevar a cabo pequeñas investigaciones matemáticas y presentar los resultados.
- Operaciones con números reales.
- Ángulos.

Cultura científica

- Los métodos de la ciencia. Uso de las TIC.
- Estudio y exploración del universo.
- El Sistema Solar.

Geografía

- Los movimientos de la Tierra.
- Representación de la Tierra. Latitud y longitud

Los alumnos deben conocer...

1. El concepto de "período de rotación".
2. Los conceptos de longitud y latitud.
3. El concepto de "velocidad".
4. El concepto de ángulo y cómo se miden ángulos. Cómo convertir cantidades de tiempo de minutos a horas y de horas a días, y viceversa.



Necesitarás...

Herramienta web de CESAR
http://cesar.esa.int/tools/14.differential_rotation/index.php

Los alumnos aprenderán...

1. El período de rotación del Sol, y cómo varía según la latitud.
2. A calcular velocidades identificando objetivos en imágenes separadas por el tiempo.
3. La información que puede obtenerse de una imagen astronómica.

Los alumnos mejorarán...

- Su comprensión del pensamiento científico.
- Sus estrategias para trabajar según el método científico.
- Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación.
- Sus competencias de evaluación.
- Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales.
- Sus competencias en el uso de las TIC.

Resumen de actividades

Título	Actividad	Resultados	Requerimientos	Tiempo
1. <i>Conociendo el Sol</i>	Los alumnos compararán el Sol y la Tierra, y mirarán dentro de la estructura y características físicas del Sol.	Los alumnos mejorarán: <ul style="list-style-type: none"> • Su comprensión del pensamiento científico. • Sus estrategias para trabajar según el método científico. • Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación. 	Ninguno	10-15 min
2. <i>Cálculo de la rotación del Sol</i>	Los alumnos calcularán el periodo de rotación del Sol.	Los alumnos mejorarán: <ul style="list-style-type: none"> • Sus competencias en el uso de las TIC. • Su conocimiento de los sistemas de coordenadas. 	Ninguno	15 min
3. <i>La rotación diferencial del Sol a diferentes latitudes</i>	Los alumnos repetirán sus cálculos de la rotación del Sol empleando diferentes manchas solares y diferentes imágenes del Sol.	Los alumnos aprenderán: <ul style="list-style-type: none"> • Sobre la existencia de la rotación diferencial del Sol. Los alumnos mejorarán: <ul style="list-style-type: none"> • Su comprensión del pensamiento científico. • Sus estrategias para trabajar según el método científico. • Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación. • Sus habilidades evaluativas. • Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales. • Sus competencias en el uso de las TIC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 2 completada 	15 min

Introducción

El Sol, nuestra estrella más cercana, es una estrella de gas caliente ionizado o “plasma”, compuesto principalmente por hidrógeno y helio. La temperatura en la superficie del Sol es de unos 5500 °C (5800 K). De un modo parecido a la Tierra, el Sol rota.

ADVERTENCIA–Nunca mires directamente al Sol, puede causar daños serios en tus ojos.

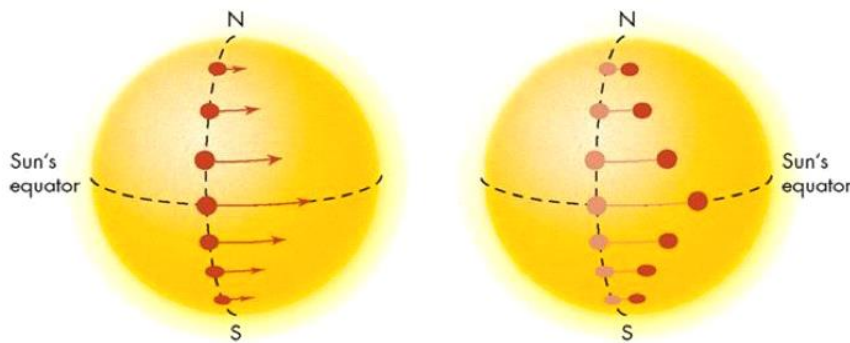


Figura 1: El gas ionizado en la superficie del Sol no se mueve a la misma velocidad a medida que el Sol rota, yendo más rápido en las zonas del ecuador. (Créditos: McGraw-Hill)

En estas actividades los estudiantes usarán imágenes de la base de datos del Observatorio Solar Educativo de CESAR (CESO) que se encuentra en el Centro de Astronomía de la Agencia Espacial (ESAC) en España (Villanueva de la Cañada, Madrid). Accederán a las imágenes y estudiarán sus manchas solares on-line.

Fundamentos teóricos

Las manchas solares aparecen como parches oscuros sobre la superficie del Sol. El motivo de que aparezcan más oscuras que el resto de la superficie del Sol (conocida como **fotosfera**) es porque se encuentran unos 1000 K más frías. Las manchas solares pueden variar su tamaño, pudiendo llegar a tener el tamaño de la Tierra o el de Júpiter (ver imagen izquierda de la Figura 2).

Como en el caso de la Tierra, el Sol tiene un campo magnético (ver Figura 3). Sin embargo, mientras que el campo magnético de la Tierra es muy estable y no varía mucho con el tiempo, el campo magnético del Sol es más complejo y se mueve activamente con el Sol. **Las “manchas solares” son un resultado de esta actividad magnética**, siendo regiones donde los campos magnéticos del Sol salen (o entran) atravesando la superficie del Sol (fotosfera). A menudo aparecen en parejas, siendo una de las manchas creada por la línea de campo magnético que sale de la fotosfera y la otra por la línea de campo magnético que entra. Por ello a menudo tienen polos magnéticos (o polaridad), pareciéndose al polo norte y polo sur de un imán (ver imagen de la derecha en la Figura 2).

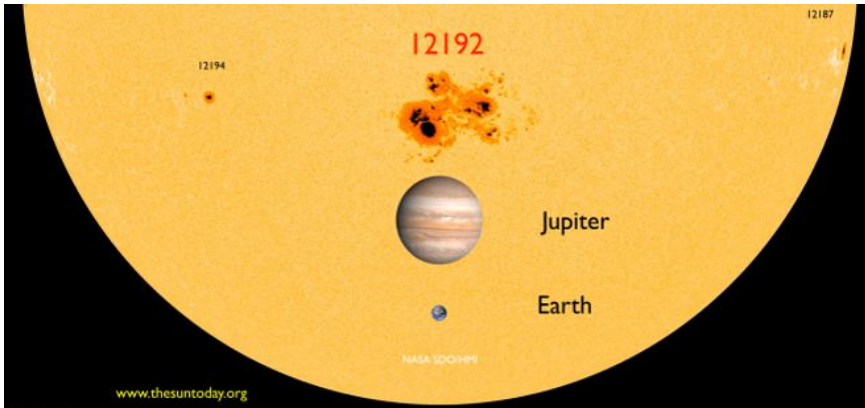


Figura 2: (Imagen izquierda) Comparación de tamaños de manchas solares. (Imagen derecha) Comparación de manchas solares con un imán (Créditos: thesuntoday.org, presentación de Dra. Anik De Groof, científica de la misión Solar Orbiter de la ESA)

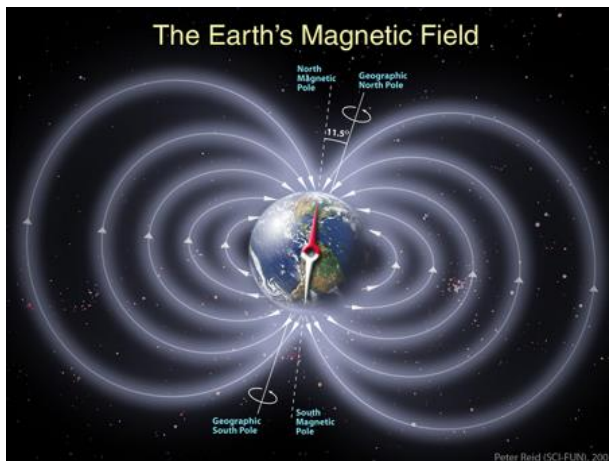


Figura 3: Comparación entre el campo magnético de la Tierra (imagen izquierda) y el generado por un imán que une su polo norte y su polo sur por líneas de campo magnético (imagen derecha). (Créditos: NASA, presentación de la Dra. Anik De Groof, científica de la misión Solar Orbiter de la ESA)

A medida que el Sol rota, sus líneas de campo magnético se enrollan alrededor de este, tal y como se ve en la Figura 4.

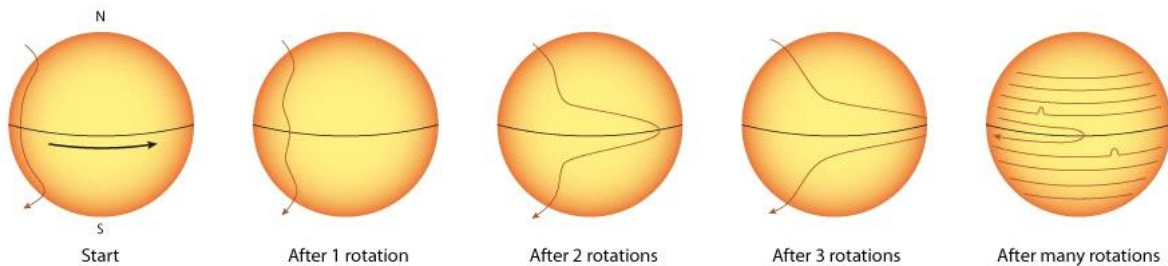


Figura 4: Explicación de cómo se genera la rotación diferencial del Sol a lo largo de varios días. (Créditos: NASA / IBEX)

Llamamos **periodo de rotación** de un objeto al tiempo que tarda en dar una vuelta entorno a su eje. **PISTA:** En el caso del Sol podemos deducir su valor midiendo cuánto tiempo tarda una mancha solar en recorrer cierta distancia sobre su superficie; o en el número de grados recorrido (en longitud), teniendo en cuenta que una rotación completa (una vuelta) son 360 grados.

¿Sabías qué?

El Sol está siendo constantemente observado por muchos satélites. La ESA extrae la información de varios de ellos como [PROBA-2](#), [SOHO](#) y [Solar Orbiter](#). El campo de la física que estudia el Sol se llama **Heliofísica**.

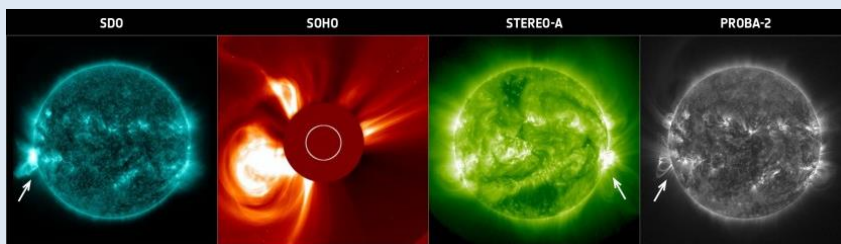


Figura 5: El Sol observado en diferentes filtros (Créditos: kiri2ll.livejournal.com)

Actividad 1: Conociendo al Sol.

Esta actividad es una introducción al Sol para los estudiantes. Ellos pueden hacer comparaciones entre estrellas y planetas, empleando el Sol y la Tierra como ejemplos e investigando algunos detalles de la estructura del Sol como una estrella típica, así como algunas de sus características físicas.

A los alumnos se les pide primero comparar diferentes parámetros del Sol y de la Tierra. Para ayudar a los estudiantes comienza la actividad de modo que ellos puedan contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo de objetos celestes son el Sol y la Tierra y cuáles son sus principales diferencias?
- ¿Cuáles son los principales 'estados de la materia' de los que están hecho el Sol y la Tierra?
- Al comparar otras propiedades como el tamaño, la masa y la densidad, el concepto de objeto estelar y no-estelar en función de la cantidad de masa puede ser presentado.
- Un debate sobre los diferentes parámetros como, temperatura de superficie promedio y composición química podría conducir a una comparación entre las estrellas y los planetas.
- Una comparación a groso modo entre las edades de las estrellas y las de los planetas, pueden aportar pistas de que los planetas se forman en el mismo proceso que las estrellas entorno a las que giran.

Propiedad	Valor en el Sol	Valor en la Tierra	Comparación Sol/Tierra
Tipo de objeto	Estrella	Planeta	
Estado de la mayoría de la materia	Plasma	Sólido	
Radio (km)	~ 700 000	6400	~ 110
Masa (kg)	~ 2×10^{30}	~ 6×10^{24}	~ 33 333
Densidad media (kg/m ³)	1400	5500	~ 0.25
Temperatura superficial (° C)	~ 5500	17	~ 20
Elementos más abundantes	H ₂ , He, O ₂	N ₂ , O ₂ , Ar	
Edad (años)	4 650 000 000	4 550 000 000	~ 1

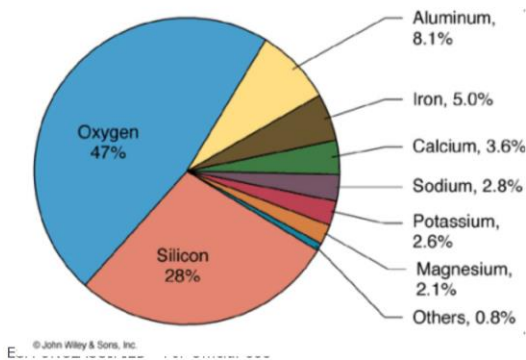
Tabla 1: Comparación de algunas de las características del Sol y de la Tierra.

1. ¿De qué gases está hecho el Sol?

Como la mayoría de las estrellas, el Sol está compuesto por un 90% de hidrógeno y un 9% de helio. La Figura 6, presenta el desglose de qué elementos forman la Tierra y el Sol.

Earth:

oxygen, magnesium, silicon, and iron.



Sun:

>90% hydrogen

~9% helium

tiny bit of common Earth elements

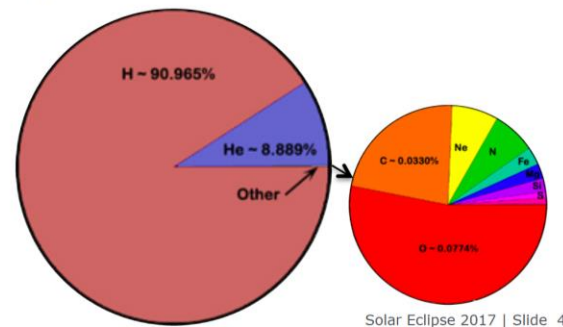


Figura 6: Comparación de los elementos que forman la Tierra y el Sol

(Créditos: Presentación de Dra. Anik De Groof, científica de ESA/NASA Solar Orbiter)

2. ¿En qué capas del Sol son visibles las manchas solares? Dibuja un esquema.

Las manchas solares se ven en la superficie del Sol, llamada fotosfera. Los alumnos pueden encontrar las respuestas en las guías, en la información de fundamentos teóricos y en el diagrama de la caja informativa “¿Sabías que?”. Se espera que los estudiantes produzcan esquemas con etiquetas que muestren las características como las indicadas en los imágenes y diagramas de la Figura 7.

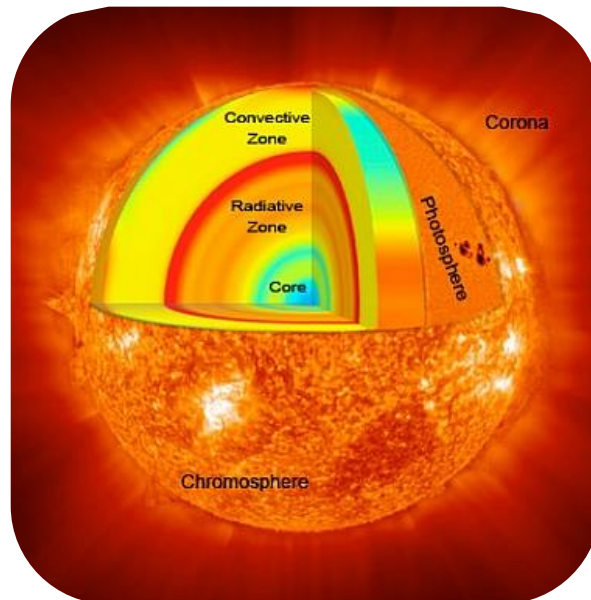


Figura 7: Diagrama de las capas del Sol donde se ven las manchas solares en la fotosfera (Créditos: Dra. Anik De Groof presentación de ESA/NASA Solar Orbiter)

Aclarar a los alumnos que usaran manchas solares en la siguiente actividad para calcular la rotación diferencial del Sol, y que las manchas solares son causadas por procesos magnéticos en el Sol. Los alumnos emplearán las imágenes del Sol tomadas en luz visible en las que se pueden identificar zonas más oscuras (frías) sobre la superficie del Sol.

Para extender el debate de la estructura del Sol puede ser interesante mencionar a los alumnos que las capas externas del Sol tienen diferentes características (de temperatura y densidad) y por ese motivo pueden ser observadas a diferentes longitudes de onda. Sin embargo, hay un único proceso magnético en el Sol, con diferentes rasgos (eventos) detectables en las diferentes partes de éste.

Actividad 2: Cálculo de la rotación del Sol

En esta actividad, los alumnos emplearán imágenes del Sol tomadas por el Observatorio Solar Educativo de la iniciativa CESAR (CESO). A partir de ellas medirán el movimiento de una mancha solar a lo largo de varios días para calcular la rotación del Sol.

Los alumnos accederán a las imágenes y completarán la actividad usando una herramienta web diseñada especialmente (http://cesar.esa.int/tools/14.differential_rotation/index.php).

NOTA: si las instrucciones vienen dadas en inglés, entrar en la página principal de CESAR (www.cesar.esa.int) y elegir el idioma español, por medio de la banderita de arriba a la derecha.

Esta actividad está estructurada de manera similar a los experimentos, por lo que los estudiantes comenzarán haciendo una **hipótesis**, realizarán un **experimento** en el que medirán el movimiento de una mancha solar y finalmente llegarán a sus propias **conclusiones** a partir de sus resultados.

Instrucciones detalladas para realizar esta actividad se dan en la Guía del Estudiante.

Hipótesis

1. ¿Cuánto tiempo crees que tarda el Sol en completar una rotación (en girar en torno a su eje una vez)?

Los alumnos deben basar sus respuestas en su conocimiento en el momento, antes de comenzar la actividad.

El Sol es una bola de gas caliente e ionizado, o plasma, no un cuerpo rígido, y por tanto el gas en su superficie no se mueve en bloque. Por ello, la velocidad de rotación del Sol variará sobre su superficie. El Sol rota más rápido cerca del ecuador, con un periodo de rotación de 25* días. Cerca de los polos del Sol, a una latitud de aproximadamente 90 grados en valor absoluto, el Sol rota más lentamente, con un periodo de rotación cercano de los 35 días.

(* Es importante tener en cuenta que los cálculos realizados a partir de las imágenes tomadas desde la Tierra nos dan el **movimiento aparente** y no el periodo de rotación real del Sol. Como la Tierra rota entorno al Sol, en la misma dirección, observamos un periodo de rotación (llamado periodo sinódico) mayor que el real (o periodo sidéreo). Por ejemplo, en el ecuador, el periodo sidéreo de la rotación del Sol es de 24.47 días mientras que el periodo sinódico es de 26.24 días, visto desde la Tierra. Puede ser un ejercicio interesante para los alumnos el calcular el periodo de rotación sidéreo, a partir del cálculo del periodo sinódico.

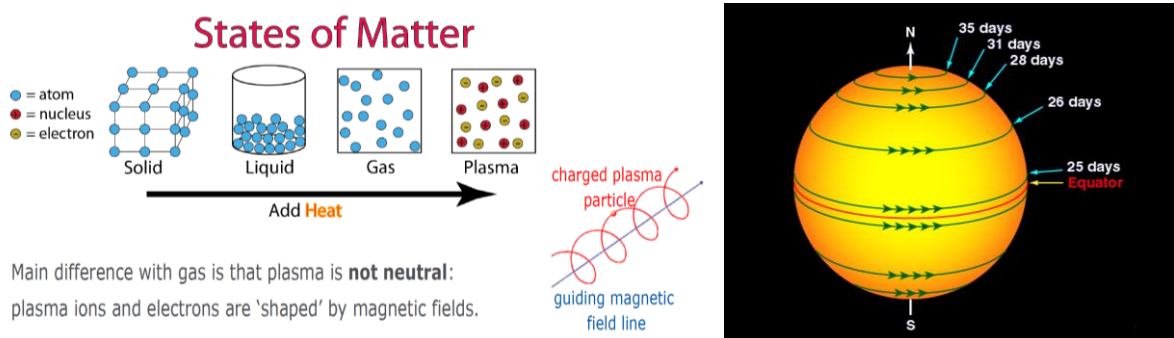


Figura 8: Diagrama de los cuatro estados de la materia (imagen de la izquierda); Diagrama mostrando cómo varía el periodo de rotación del Sol sobre su superficie (imagen derecha). (Créditos: Presentación de Dra. Anik De Groof, científica de ESA/NASA Solar Orbiter; respuestas.tips website).

2. ¿En qué dirección, crees que una mancha solar se mueve sobre la superficie del Sol? Dibuja un esquema que ilustre tu respuesta.

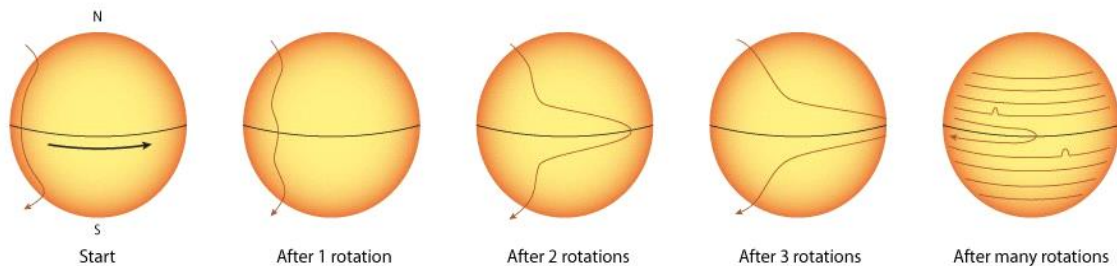


Figura 9: Las líneas de campo magnético están enrolladas de este modo debido a que la superficie del Sol se mueve a diferentes velocidades (Créditos: NASA/IBEX)

Como las manchas solares son el resultado de procesos magnéticos, se mueven en la dirección de sus campos magnéticos. Como se muestra en la Figura 9 las líneas de campo magnético del Sol comienzan perpendiculares al ecuador del Sol y se van enrollando en la dirección de giro del Sol. Por ello, las manchas solares se mueven principalmente paralelas al ecuador. En esta actividad, el cambio principal de posición para la mancha solar es en el eje x o de longitud.

3. ¿Esperas que las manchas solares se muevan a la misma velocidad en diferentes zonas de la superficie del Sol? Nota: chequea la Figura 1.

La respuesta a esta pregunta está dada en la Figura 1, la cual se mencionada como nota. **El Sol es una bola de gas ionizada y se mueve más rápido en las regiones donde su radio de rotación es más grande** (como en el ecuador). Esto es debido a que la velocidad lineal, v , es proporcional a la velocidad angular, w , y al radio de rotación, r , a través de la ecuación:

$$v = w \times r$$

Ejercicio

Paso 1: Explora las imágenes del Sol tomadas por el telescopio solar CESAR:

En la herramienta web, los alumnos comienzan eligiendo una de las opciones disponibles para seleccionar la muestra de imágenes que emplearán para su investigación.

Si los alumnos eligen la Opción 1 y exploran la base de datos CESO, tienen que asegurarse que la misma mancha solar es visible en todas las imágenes que han seleccionado (entre 2-4 imágenes). Es recomendable que usen la lupa para explorar mejor las manchas solares.

Las Opciones 2 y 3, permiten acceso directo a conjuntos de imágenes donde las manchas solares son visibles con seguridad.

Estudio de la rotación diferencial del Sol v1.0

Paso: 1/4
Explora las imágenes del Sol tomadas por el telescopio solar CESAR.

- Opción 1: Elige 4 imágenes en el calendario.
- Opción 2: Set de imágenes con manchas solares lejos del ecuador del Sol.
- Opción 3: Set de imágenes con manchas solares cerca del ecuador del Sol.

Febrero-Marzo 2020

Tarea 1:
Selecciona una de las tres opciones para estudiar el cambio de posición de una mancha solar.

Notas:

- No aparecen manchas solares en la superficie del Sol todos los días.
- La misma mancha solar debe aparecer en todas las imágenes que selecciones.
- Usa la lupa para ampliar las imágenes.

Continuar

Paso 2: Obtén la información de la mancha solar elegida

Los alumnos necesitan identificar el radio del Sol en las imágenes. Para ello deben seleccionar el centro y un extremo del Sol.

Estudio de la rotación diferencial del Sol v1.0

Paso: 2/4
Obten la información de la mancha solar elegida.

Fecha: 08-07-2017 10:53:12

Atrás

Tarea 1:
Mide el radio del Sol.

Radio del Sol: 229 pixeles ; 695 842 km

Tarea 2:
Mide el movimiento aparente de una mancha solar.

- Selecciona la casilla con la primera imagen.
- Pincha encima de la mancha solar elegida.
- Repítelo para cada imagen.

08-07-2017 10:53	
09-07-2017 09:05	
10-07-2017 08:08	
12-07-2017 08:15	

Continuar

La Tarea 1 le pide al alumno identificar el radio del Sol de manera gráfica en la imagen. Ellos simplemente necesitan, hacerlo una vez, para la primera imagen que hayan seleccionado, pinchar en la cruz negra del centro de las imágenes del Sol y en uno de los extremos del Sol. Esta acción la pueden repetir tantas veces como sea necesario pues se puede corregir.

Los alumnos podrán ver el valor del radio en píxeles y en kilómetros y la explicación de qué es un píxel se muestra en la guía del estudiante.

El radio, medido en píxeles, es necesario por la herramienta web para transformar las medidas de coordenadas en el plano (x e y en píxeles) a coordenadas esféricas cuyo punto de referencia es el centro del Sol. Para realizar esta conversión, es necesario conocer cuántos píxeles caben en el radio de Sol para nuestras imágenes. Las ecuaciones empleadas (internamente) por la herramienta

web se muestran en la Figura 10. **Como esto es hecho por la herramienta internamente, los estudiantes no necesitan hacer este cálculo.**

Los valores de x y y (de las ecuaciones en la Figura 10) son medidas en píxeles por la herramienta cuando pinchamos en las posiciones de la mancha solar en las imágenes. B_0 es la longitud de referencia del Sol y Φ_0 , es la latitud de referencia del Sol, para cada día, tomadas de la siguiente base de datos (<http://bass2000.obspm.fr/ephem.php>).

Between Stonyhurst heliographic and heliocentric-cartesian:

$$\begin{aligned} x &= r \cos \Theta \sin(\Phi - \Phi_0), \\ y &= r[\sin \Theta \cos B_0 - \cos \Theta \cos(\Phi - \Phi_0) \sin B_0], \\ z &= r[\sin \Theta \sin B_0 + \cos \Theta \cos(\Phi - \Phi_0) \cos B_0], \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \\ \Theta &= \sin^{-1}((y \cos B_0 + z \sin B_0)/r), \\ \Phi &= \Phi_0 + \arg(z \cos B_0 - y \sin B_0, x), \end{aligned} \quad (12)$$

where B_0 and Φ_0 are the Stonyhurst heliographic latitude and longitude of the observer. If the r dimension is missing, then we make the assumption that $r = R_\odot$. If the z dimension is

Figura 10: Ecuación usadas por la herramienta web para transformar las coordenadas del plano a heliocéntricas (Créditos: De la publicación "Coordinate systems for solar image data" W. T. Thompson, *Astronomy & Astrophysics*, 2005 Dec 15)

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante:

1. A partir de tus observaciones, ¿ves si las manchas solares se mueven en alguna dirección en particular? Dibuja un esquema y explica tu respuesta.

El movimiento principal de una mancha solar es aproximadamente a lo largo del eje horizontal o paralelo al Ecuador del Sol, de izquierda a derecha.

2. Si hay un movimiento predominante, ¿es éste en longitud o en latitud? Nota: Chequea la Figura 11.

Este movimiento es principalmente en el eje de longitud.

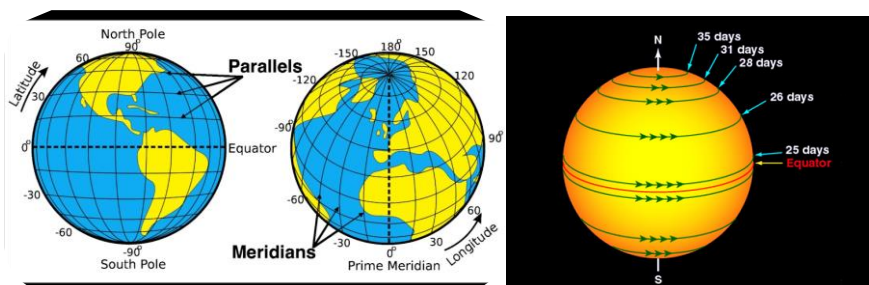


Figura 11: (imagen izquierda) Diagrama para mostrar la definición de longitud y latitud en coordenadas geográficas; (imagen derecha) Diagrama que muestra la dirección de giro de las manchas solares a lo largo de la superficie del Sol. (Créditos: <http://nishalspace.com; respuestas.tips website>).



Los alumnos miden cuánto parece haberse movido la mancha elegida en todas las imágenes.

La fecha y el tiempo en el que las imágenes fueron tomadas se muestran en la herramienta web. Esta información es dada como el día (DD), mes (MM) y año (YYYY) y el tiempo es dado en horas (hh), minutos (mm) y segundos (ss).

Para facilitar los cálculos posteriormente los estudiantes deberán anotar los datos obtenidos de cada imagen en la tabla a continuación:

Imagen	Fecha y hora (DD-MM-YYYY hh:mm)	Latitud (grados)	Longitud (grados)
1	07/07/2017 07:24	-6.3	-58.19
2	08/07/2017 10:53	-6.52	-42.65
3	09/07/2017 09:05	-6.77	-29.23
4	10/07/2017 08:08	-6.96	-16.06

Paso 3: Calcula el periodo de rotación del Sol (para una mancha solar):

Finalmente, los alumnos introducirán sus medidas dentro de la herramienta web para calcular el periodo de rotación del Sol.

Convertir minutos en horas:

Imagen 2, tomada a las 10:53, por lo que $53 \text{ minutos}/60 = 0.88 \text{ horas}$.

Imagen 1, tomada a las 07:24, por lo que $24 \text{ minutos}/60 = 0.4 \text{ horas}$.

Si vemos la diferencia de tiempo entre la Imagen 2 y la Imagen 1:

$$10.88 - 7.4 = 3.48 \text{ horas, por lo tanto } 3.48/24 = 0.145 \text{ días}$$

Miremos de nuevo el tiempo en el que se tomaron las imágenes. Se tomaron en días consecutivos. Por ello, la diferencia de tiempo entre las imágenes es:

$$1 + 0.145 = 1.145 \text{ días}$$

La diferencia entre los valores de la longitude (en valor absolute son):

$$-58.19^\circ - -42.65^\circ = 15.54^\circ$$

Si a la latitud de -6.4 grados, una mancha solar tarda 1.145 days en recorrer 15 grados de longitude, para completar una vuelta complete, una mancha tardará 26.53 días. Esto es el periodo de rotación del Sol a esa latitud.



Los estudiantes deben intentar repetir el cálculo del periodo de rotación del Sol con otro conjunto de imágenes que tengan manchas solares a la misma latitud y así calcular el valor promedio de rotación a esa latitud promedio.

Par de imágenes	Variación en tiempo (días)	Variación en longitud (grados)	Periodo de rotación (días)
1 y 2	1.145 days	-6.4	15.54 °
2 y 3			
3 y 4			
Valor promedio del periodo de rotación (días)			
Latitud promedio (grados)			

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante:

Conclusiones

1. ¿Es el valor del periodo de rotación del Sol el que esperabas? Compara tus resultados con los de otros compañeros, ¿son parecidos? Si no, ¿cuál crees que es la razón de dichas diferencias?

Los alumnos deben comparar sus resultados con la hipótesis que hicieron al comienzo de la actividad. Cuando comparen sus resultados con los de otros grupos deben tener en cuenta la posición (latitud) de su mancha solar en la superficie – si ésta está cerca del ecuador o de los polos del Sol. Además deben considerar los posibles errores en su medida como otro motivo de poder obtener resultados ligeramente diferentes a misma latitudes.

2. ¿Es el valor del periodo de rotación exactamente el mismo cuando se calcula para diferentes pares de imágenes? ¿Esperabas esto? ¿Por qué?

Las diferentes imágenes del Sol fueron tomadas en diferentes días. Al hacer el cálculo del periodo de rotación comparando diferentes pares de imágenes para una misma mancha solar debemos considerar también las siguientes fuentes de error

- La posición de la mancha. Ésta fue elegida a pulso, pudiendo haber un error en la identificación del centro de la mancha entre imágenes al ser imágenes grandes o varias manchas juntas y no bien resueltas por la imagen.
- Sólo consideramos la variación en longitud de la mancha y no en latitud.
- Sólo dos decimales fueron usados para la identificación de posición (en longitud) y la unidad empleada fueron grados.



- Sólo dos decimales fueron usados para la identificación de tiempo y la unidad empleada fueron días.

Paso 4: Compara el periodo de rotación del Sol con el de otros cuerpos del Sistema Solar.

1. ¿Esperabas que el Sol rotara más o menos rápido que la Luna? ¿Y más o menos rápido que la Tierra.

Objetos celestes	Periodos de rotación (días)	Periodo de rotación (dd hh mm ss)
Mercurio	58.64	58 ^d 15 ^h 30 ^m 30 ^s
Venus	243	-243 ^d 0 ^h 26 ^m
Tierra	0.99	0 ^d 23 ^h 56 ^m 4.09 ^s
Luna	27.32	27 ^d 7 ^h 43 ^m 11.5 ^s
Marte	1.02	1 ^d 0 ^h 37 ^m 22.6 ^s
Ceres	0.37	0 ^d 9 ^h 4 ^m 27.0 ^s
Júpiter	0.41	0 ^d 9 ^h 55 ^m 29.37 ^s

Tabla 4: Periodos de rotación de varios cuerpos del Sistema Solar.

Vemos que la Tierra rota mucho más rápido que el Sol, lo cual esperábamos por ser un cuerpo más pequeño. Sin embargo, en el caso de Mercurio o Venus, esto no sucede. Podría ser interesante comentar con los alumnos qué diferentes procesos podrían influir en ralentizar el giro de la rotación de estos planetas. La Tabla 4 muestra una lista de periodos de rotación de más planetas. Es interesante ver que la Luna y el Sol giran a velocidades similares.

Actividad 3: La Rotación del Sol a diferentes latitudes

Para esta actividad los alumnos repiten el proceso de cálculo del periodo de rotación del Sol realizado en la Actividad 2, en esta ocasión empleando otro conjunto de imágenes del Sol (diferentes fechas y manchas solares).

Los estudiantes deben seleccionar otro set de días de la base de datos CESO, a través del calendario (Opción 1) o empleando alguno de los conjuntos de imágenes ya preseleccionadas en las Opción 2 ó Opción 3. Los alumnos deben apuntar el valor medio del periodo de rotación calculado para cada par de imágenes en una tabla, así como la latitud media de la mancha solar estudiada en dichas imágenes.

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante:

Afectan los siguientes factores a cómo rota la mancha solar (y por lo tanto el Sol):

a) ¿el hemisferio que miremos?, b) ¿la fecha?, c) ¿el valor en latitud? Explica el razonamiento detrás de tus respuestas.



La base de datos de las imágenes utilizadas en las actividades cubre un intervalo de tiempo de solo 2 años, por lo tanto para estas imágenes el factor principal que afecta a la velocidad de rotación es la latitud de la mancha solar. Se conoce que la actividad solar varía en un periodo de 11 años (también llamado “Ciclo Solar”). Durante este ciclo, diferentes manchas solares aparecen en distintos periodos.

Teniendo en cuenta las latitudes de las manchas solares, ¿a qué latitud rota el Sol más rápido? En otras palabras, ¿para qué latitud el periodo de rotación del Sol es menor?

Para latitudes cerca del ecuador, la velocidad de rotación es mayor, por lo que el periodo de rotación solar es menor.

Links

...sobre el Sol

- CESAR Booklet: *The Sun structure, The Magnetic Sun*

...sobre estrellas

CESAR Booklet: *Stellar evolution*

...sobre el espectro electromagnético y misiones de la ESA

CESAR Booklet: *The electromagnetic spectrum*

http://cesar.esa.int/upload/201711/electromagnetic_spectrum_booklet_wboxes.pdf

Science@ESA: *The full spectrum* (video)

<http://sci.esa.int/education/44685-science-esa-episode-1-the-full-spectrum/>

Science@ESA: *Exploring the infrared universe* (video)

<http://sci.esa.int/education/44698-science-esa-episode-3-exploring-the-infrared-universe/>

...Referencias:

https://www.windows2universe.org/sun/activity/sunspot_history.html