



Reto Científico CESAR

Tormenta solar a la Tierra

Estudiando la actividad magnética del Sol con SOHO

Guía del Estudiante

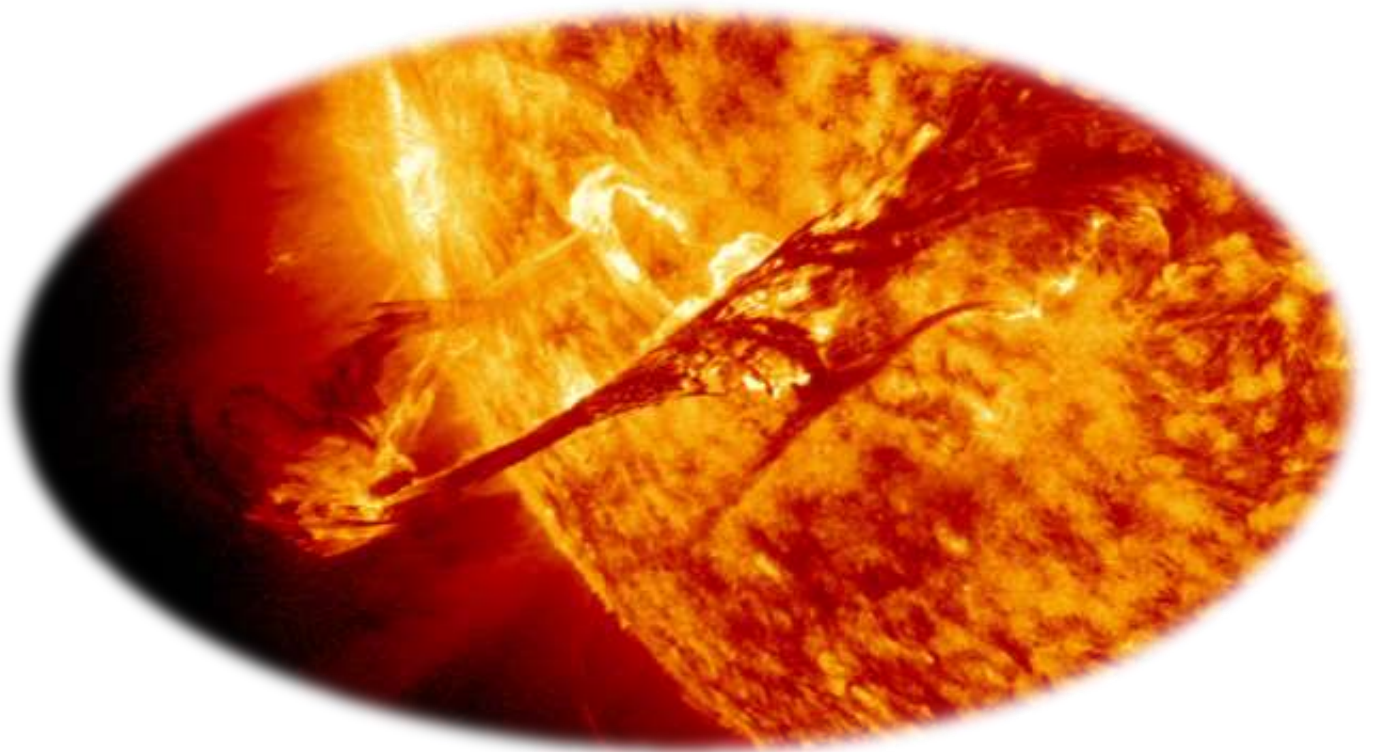




Tabla de contenidos

Tu Reto Científico	3
Fase 0.....	5
Fase 1.....	7
Actividad 1: Repasa conceptos	8
Actividad 2: Compara la velocidad y el tiempo que tardan varios vehículos en recorrer la distancia Tierra-Sol.....	9
Actividad 3: El Sol.....	10
Actividad 4: La actividad magnética del Sol.....	17
Actividad 5: La Exploración Espacial del Sol por la Agencia Espacial Europea (ESA).	24
Actividad 6: Evalúa lo que has aprendido hasta ahora	27
Fase 2.....	28
Fase 3.....	30
Actividad 8: ¿Cuánto tiempo tardaría en llegar una tormenta solar a la Tierra?.....	31
Actividad 9: La eyección coronal evoluciona siguiendo un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA):.....	38
Fase 4.....	40
Actividad 10: Evaluación.....	41
Actividad 11: Preséntanos tus resultados	41
Enlaces.....	42
Créditos:.....	45



Tu Reto Científico

¡S.O.S! Tormenta Solar a la Tierra

Mensaje de las misiones de la Agencia Espacial Europea que vigilan el Sol:

"¡S.O.S!. STOP. ¡S.O.S! STOP. SOHO ha detectado una tormenta solar hacia la Tierra. STOP. ¡Pónganse a cubierto! .STOP "

Solar Orbiter nos ha confirmado el mensaje ¿Cuánto tiempo tenemos para ponernos a cubierto? ¡Ayúdanos!

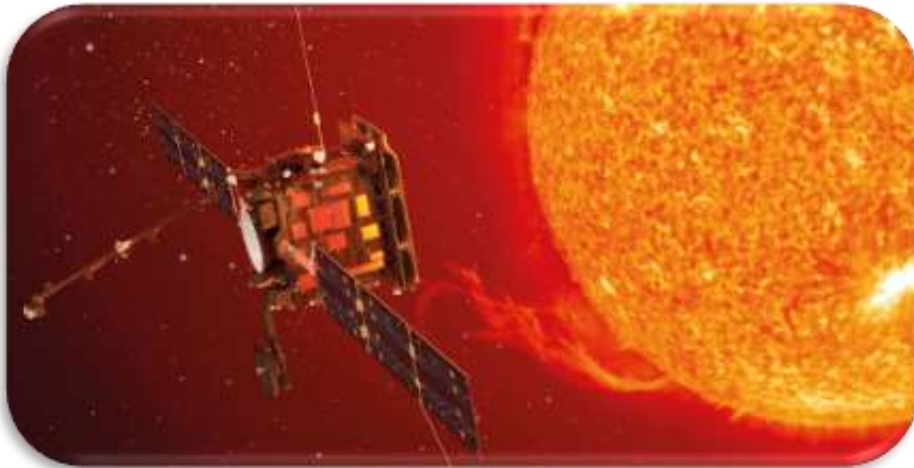


Figura 1: Satélite Solar Orbiter (Créditos: www.agenciasinc.es)



Figura 2. Eyección de masa coronal (CME). (Créditos: <https://www.quo.es/explosion-solar/>)

En este reto científico descubrirás qué tipo de material está enviando el Sol al Espacio y el impacto que tiene sobre la Tierra. Además, observando las imágenes del satélite SOHO obtendremos información sobre las eyecciones solares, para así conocer cuándo llegarán a la Tierra. **¿Contamos contigo?**



Fase 0

Para ponernos en contexto os recomendamos ver estos videos:

- [Esto es ESA](#)
- [ESAC: La ventana de la ESA al Universo](#)
- [Presentación a ESA/ESAC/CESAR por Dr. Javier Ventura](#)
- Otros [videos](#) complementario sobre Espacio.

Trabajareis en **equipos** de (4-6) personas, teniendo cada uno un papel específico. Rellena la Tabla 0 con el nombre del equipo y de los miembros del equipo asociados a varias profesiones Relacionadas con el espacio.









Identificador del Reto	Número del Equipo (1-6):			
Nombre de Miembros del Equipo				
Profesiones	Matemátic@/ Ingenier@ de software	Astrofsic@	Ingenier@	Químic@/Físic@
Roles	Lidera la correcta ejecución de los cálculos	Controla y trabaja con los datos del telescopio solar	Encargada de encontrar la mejor estrategia acordada entre los miembros del Equipo y de su correcta ejecución.	Encargada de liderar investigaciones más detalladas sobre los procesos energéticos y composición de los objetos celestes.
Referencia (femenina)	Katherine Johnson 	Vera Rubin 	Samantha Cristoforetti 	Marie Curie 
(masculina)	Steve Wozniak 	Matt Taylor 	Pedro Duque 	Albert Einstein 

Tabla 0: Escribe el Identificador del Reto (único), el número de tu Equipo (1-6) y el nombre de los componentes del Equipo, cada uno de ellos con un rol (y tareas asignadas), todas ellas necesarias.

Nota: El documento hace uso de las [Unidades del Sistema Internacional](#).



Fase 1



Actividad 1: Repasa conceptos

Podéis refrescar conceptos necesarios para el Reto Científico pinchando en los links de la Tabla 2. Estos corresponden a contenidos del currículum escolar.

<u>Velocidad y aceleración (en inglés con subtítulos en castellano)</u>	<u>Estados de la materia (TED-Ed en inglés con subtítulos)</u>	<u>10 curiosidades del sistema solar</u>
<u>Descubriendo el electromagnetismo</u> <u>¿Qué es electromagnetismo?</u>	<u>¿Cuál crees que es la mayor fuerza del Universo?</u>	<u>¿Cómo funcionan las reacciones nucleares?</u>

Tabla 1: Conceptos que deben ser refrescados antes de enfrentar este desafío científico.

Movimiento rectilíneo uniforme y uniformemente acelerado:

- El movimiento rectilíneo uniforme (MRU), como su nombre indica, es aquel que se realiza en una dimensión (línea recta) y que no sufre cambios en su velocidad. Su ecuación es:

$$v = \frac{s}{t} \qquad t = \frac{s}{v} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde v es la velocidad, s es el espacio recorrido y t el tiempo.

- El movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA), es aquel que se realiza en una dimensión (línea recta) pero su velocidad varía con el tiempo. Su ecuación es:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde v es la velocidad, s es el espacio recorrido, t el tiempo, a la aceleración y v_0 es velocidad inicial, que será igual a v en caso de MRU y distinta en caso de MRUA.

- Para comprender mejor los conceptos de MRU y MRUA accede a la siguiente [simulación](#). En ella se representan con ejemplos las Ecuaciones 1 y 2.

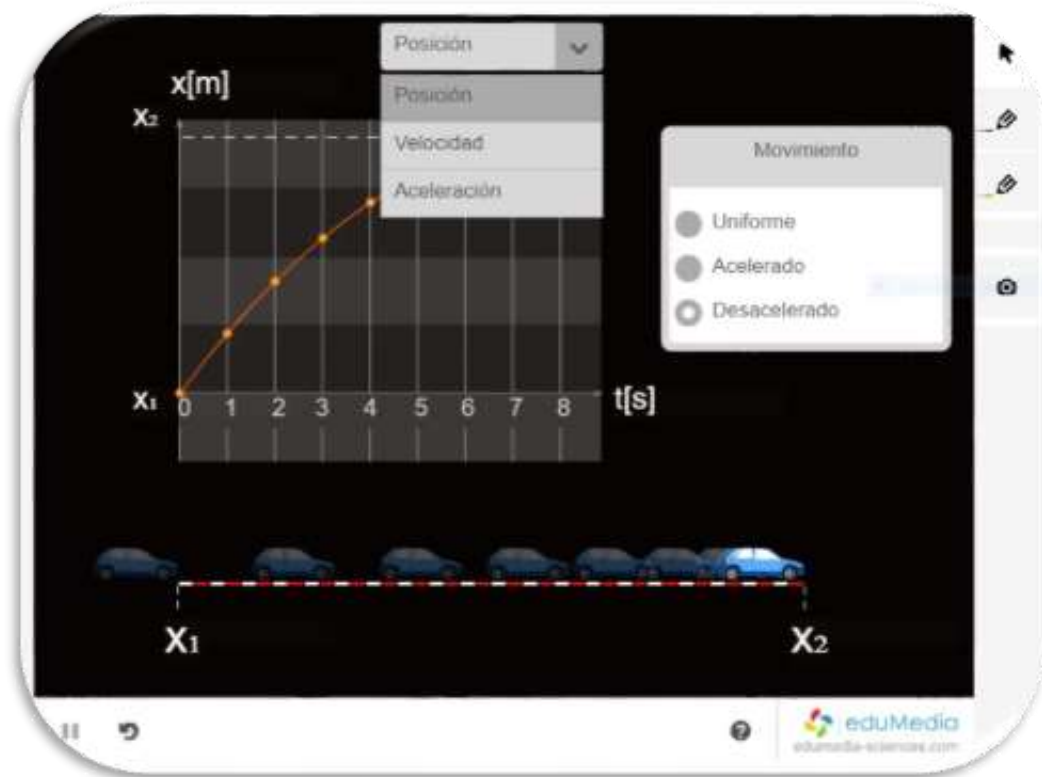


Figura 3: Simulador de MRU y MRUA (Créditos: EduMedia)

Actividad 2: Compara la velocidad y el tiempo que tardan varios vehículos en recorrer la distancia Tierra-Sol.

1. Completa la Tabla 3 con los valores velocidad o tiempo.

Vehículo	Velocidad	Tiempo
Luz	$3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	
Nave Espacial más rápida		6 meses
Avión	1000 km/h	
Coche		142 años
Bicicleta	25 km/h	

Tabla 2: Valores de velocidad y tiempo de cada vehículo con respecto al Sol

2. A partir de la Tabla 3, estima cuánto tiempo crees que tardaría una erupción solar en llegar desde la Tierra al Sol, sabiendo que la distancia Tierra-Sol es de unos 150 000 000 km.

3. ¿Crees que todas estas Eyecciones de masa coronal tardarán lo mismo en llegar a la Tierra? Razona tu respuesta

Actividad 3: El Sol

El Sol, nuestra estrella más cercana, es una bola de gas caliente ionizado o “plasma”. Este genera energía por medio de reacciones nucleares en su interior, manteniendo así el equilibrio frente a las fuerzas de colapso gravitatorio, debidas a su masa. La Figura 4 muestra algunas de las propiedades del Sol.

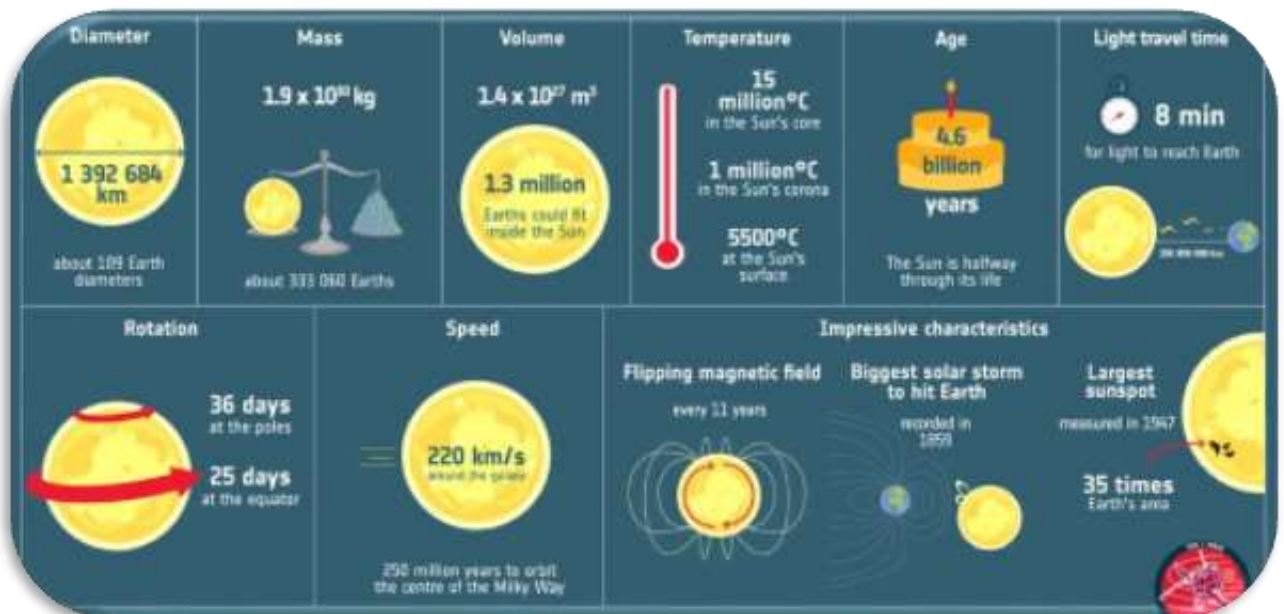


Figura 4: Conoce el Sol (Créditos: ESA)

La Figura 5 nos muestra que la edad que creemos que tiene actualmente el Sol es de casi unos 5 000 millones de años y se espera que permanezca así durante otros 5 000 millones de años antes de convertirse en una gigante roja.



Figura 5: Ciclo de vida del Sol (Créditos: [Wikipedia](#))

1. Mira este video de [El Sol](#) y cuéntanos qué has aprendido del Sol.

Para más información sobre el Sol cómo evolucionan las estrellas acceder al [cuadernillo CESAR sobre el Sol y cuadernillo CESAR de evolución estelar](#).

Actividad 3.1: La estructura del Sol

1. Dibuja cómo crees que es la estructura del Sol

2. Comprueba lo aprendido en el siguiente [Juego](#).

Instrucciones básicas:

- Presiona en el botón de “play” o el de “Again”, si no es la primera vez que juegas.
- En la parte superior se te mostrará el nombre de una zona del Sol, tu misión será pinchar en el número que crees que corresponde con esa zona.
- Los resultados aparecen en la parte superior izquierda
 - Si aciertas la respuesta el número se pondrá en verde.
 - Si fallas la respuesta el número se pondrá en rojo

Ten cuenta el tiempo. Puedes repetirlo hasta que aciertes todas ¡**Ánimo, tú puedes conseguirlo!**

Nota: La información de las capas aparecen en inglés, por lo que os mostramos la traducción al castellano, que es cómo lo habéis aprendido:

Core (núcleo), **radiative zone** (zona radiativa), **convective zone** (zona convectiva), **photosphere** (fotosfera), **granules** (gránulos), **sunspot** (mancha solar), **prominence** (prominencia), **cromosphere** (cromosfera), **corona** (corona).

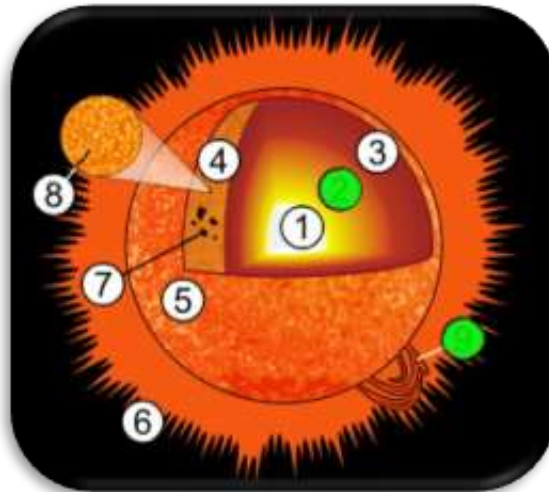
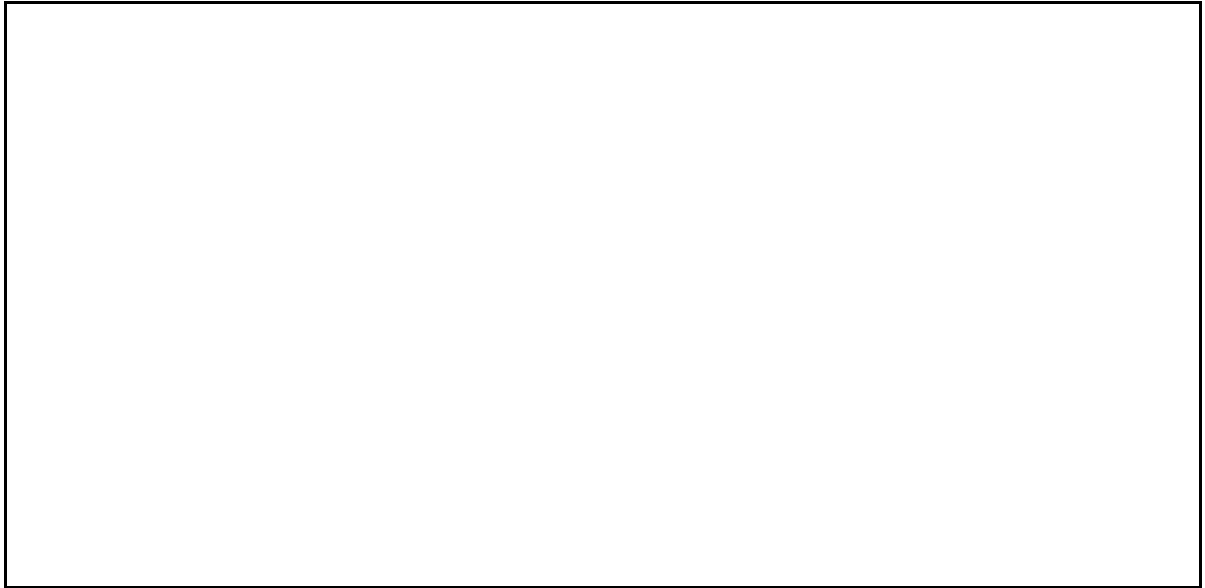


Figura 6: Pantallazo del juego de adivina la capa del Sol.
(Créditos: <https://www.purposegames.com/game/layers-of-the-sun-game>)

3. Escribe aquí las capas que recuerdas, por orden desde el interior al exterior del Sol.

4. ¿Qué capa(s) del Sol vemos desde la Tierra?

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



Actividad 3.2: La química del Sol

Las reacciones nucleares que se produce en el Sol generan la energía que hace posible su brillo y la vida en nuestro Planeta. Durante la fase más estable de las estrellas, como en la que actualmente disfruta el Sol (“secuencia principal”), tienen lugar en su núcleo reacciones químicas que transforman 4 átomos de hidrógeno en uno de helio, como muestra la Figura 7.

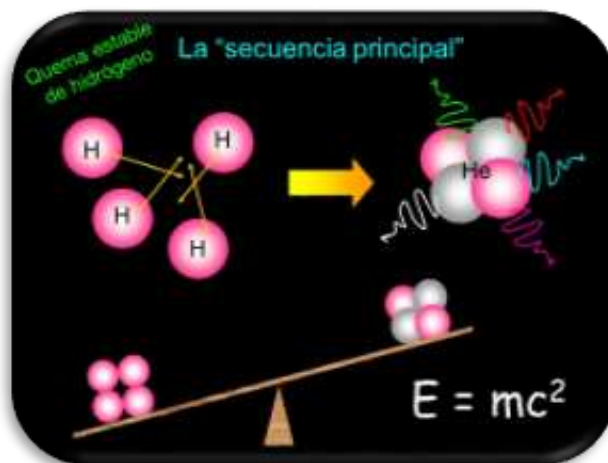


Figura 7: Reacción nuclear de las estrellas en su fase más estable. (Créditos: Charla del Dr. Benjamín Montesinos Comino en curso de profesores CESAR de Junio 2018).

Curiosidad 1: En concreto 92 sextillones (92 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000) de reacciones nucleares ocurren cada segundo en el Sol.

Curiosidad 2: Cada segundo 4 260 000 toneladas de materia se convierten en energía, la cual es capaz de proveer un hogar (estándar) de electricidad durante 9 500 billones de años.

Como muestra la Figura 8, el Sol está compuesto principalmente de hidrógeno (H ~91%) y de helio (He ~8.8%), además de otros elementos químicos en un porcentaje mucho menor

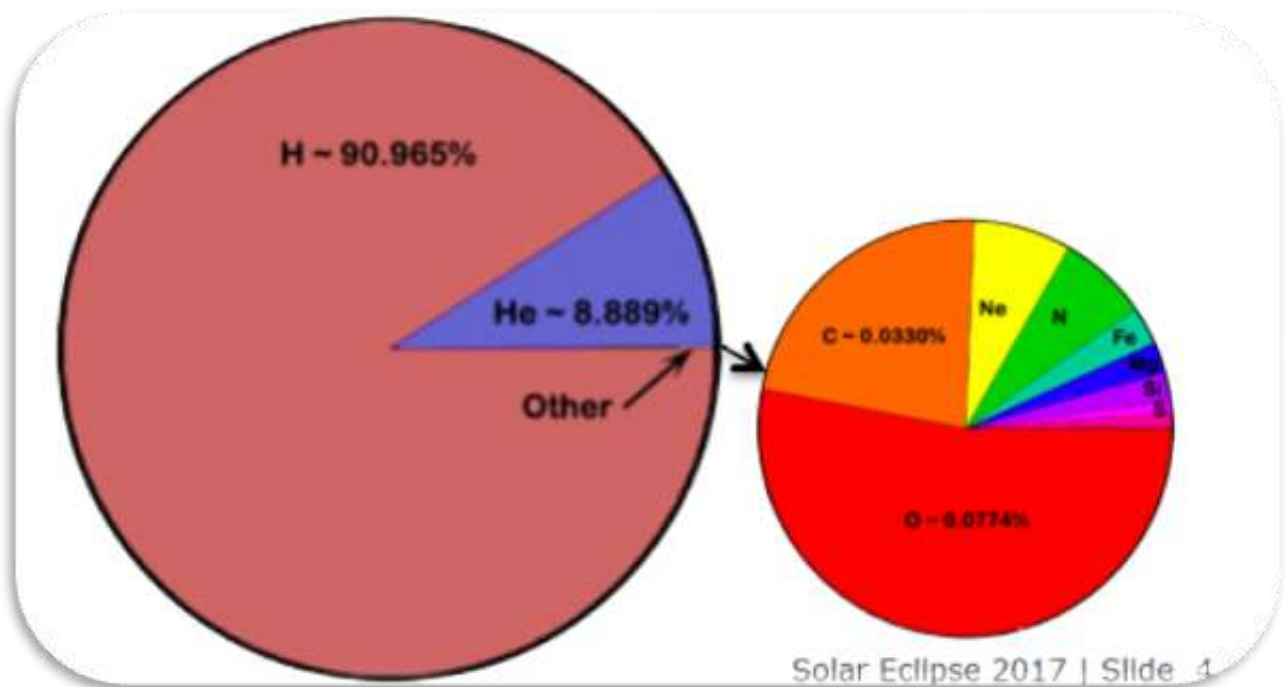


Figura 8: Elementos del Sol (Créditos: Presentación de Dra. Anik De Groof en curso de profesores CESAR).

1. Rellena la Tabla 4 con los elementos más abundantes en el Sol:
 - 1.1. El porcentaje de estos elementos puede obtenerse de la Figura 8
 - 1.2. La identificación de los elementos químicos puede obtenerse de la [Tabla Periódica Dinámica](#) (Figura 9) .

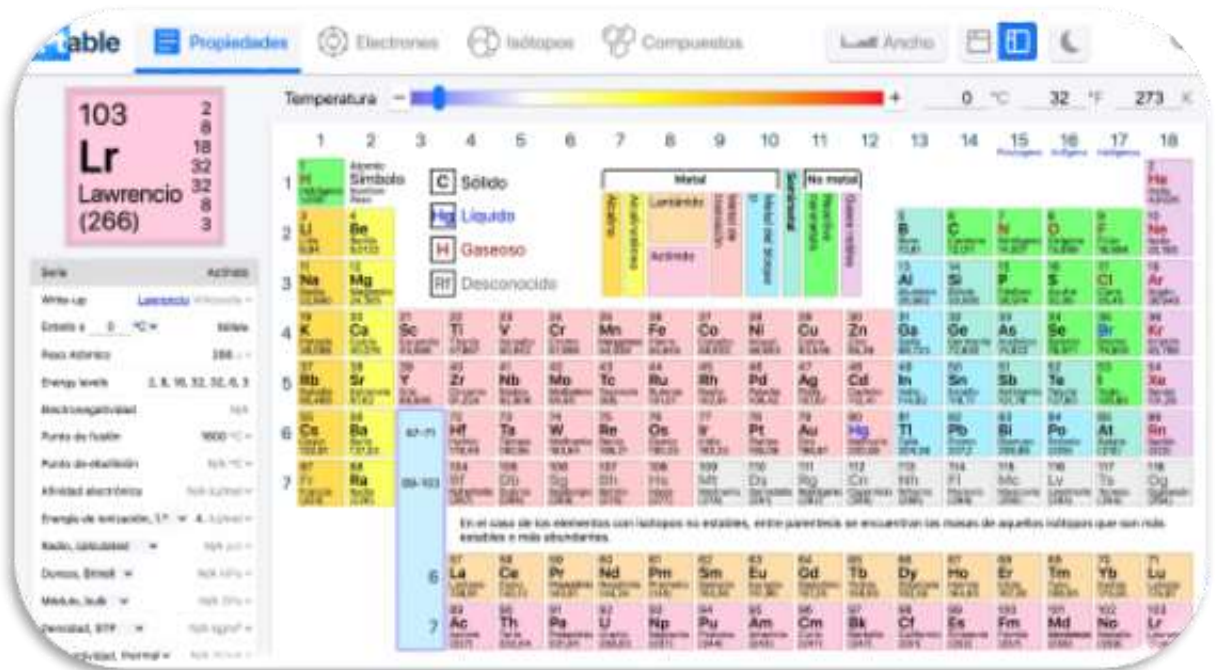


Figura 9: Tabla Periódica Dinámica (Créditos: PTable).

Proporción de ese elemento (%)	Nomenclatura	Elemento químico	Grupo en la Tabla Periódica	Número atómico
90.96	H	Hidrógeno	No metales	1
8.89	He			
0.07	O			
0.03	C			
< 0.1	Ne			
< 0.1	N			
< 0.1	Fe			
< 0.1	Mg			
< 0.1	Si			
< 0.1	S			

Tabla 4: Composición química del Sol.

2. Repite la actividad anterior para el caso de la Tierra y rellena la Tabla 5.

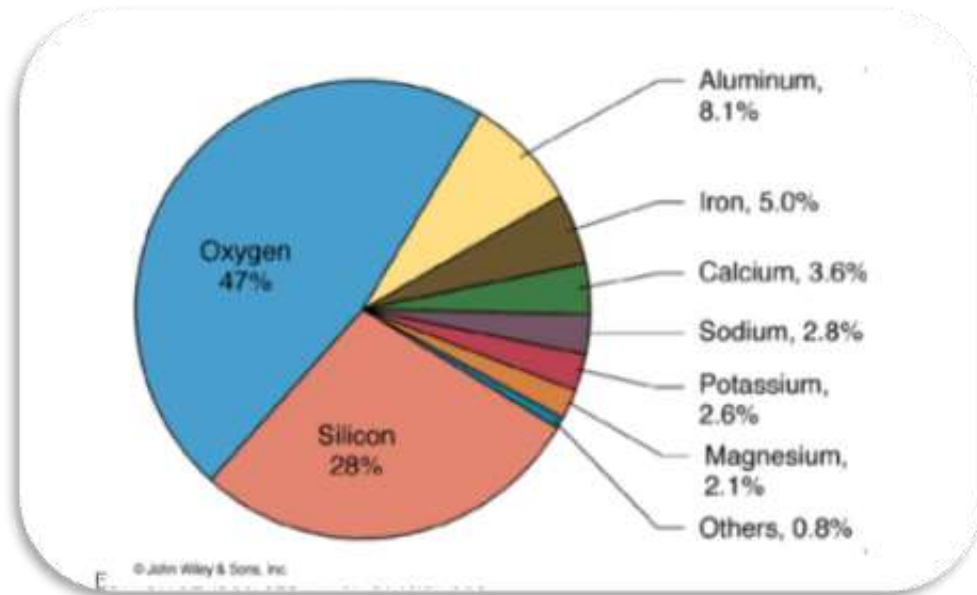


Figura 10: Elementos de la Tierra (Créditos: Presentación de Dra. Anik De Groof en cursos de profesores CESAR).

Proporción de ese elemento (%)	Nomenclatura	Elemento químico	Grupo en la Tabla Periódica	Número atómico
47	O	Oxígeno	No metales	8
28	Si			
8.1	Al			
5.0	Fe			
3.6	Ca			
2.8	Na			
2.6	K			
2.1	Mg			
0.8	Otros			

Tabla 5: Composición química de la Tierra

1. ¿Qué elementos son más abundante en el Sol y cuales en la Tierra?

La Figura 11 muestra las posiciones en el espectro electromagnético que ocupan las transiciones de los distintos elementos que se encuentran en el Sol.



Figura 11: Composición química del Sol (Créditos: <https://slideplayer.es>)

Puedes realizar la actividad [CESAR “¿De qué están hechas las estrellas?”](https://spectralworkbench.org/) usando la aplicación <https://spectralworkbench.org/>

Actividad 4: La actividad magnética del Sol

Como ya comentamos en [la Actividad 3](#), el sol es una gran bola de gas a temperaturas muy elevadas que se encuentra en estado de [plasma](#), como se ve en la Figura 12.



Figura 12: Imagen del Sol (Créditos: Presentación del Dr. Benjamín Montesinos Comino para el curso de profesores CESAR)

Debido a que el Sol está en estado de plasma, al girar el Sol sobre sí mismo, la zona del ecuador y de los polos giran a distintas velocidades, retorciendo sus líneas de campo magnético y causando las variaciones en el campo magnético del Sol, como muestra la Figura 13.

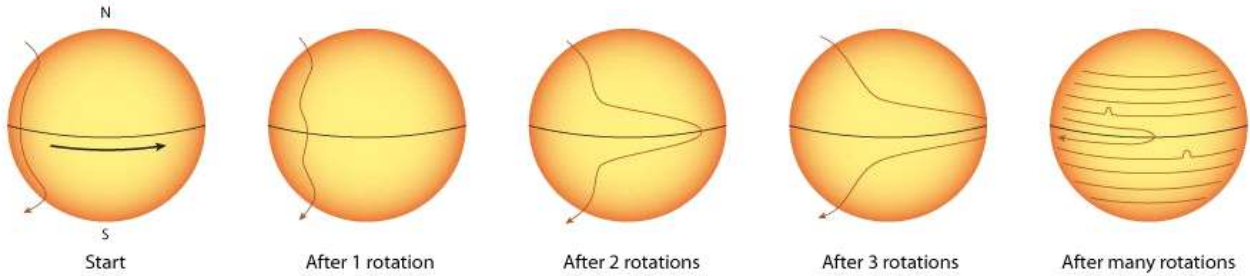


Figura 13: Explicación de cómo se genera la rotación diferencial del Sol a lo largo de varios días. (Créditos: NASA / IBEX)

Nuestra estrella es muy activa magnéticamente hablando, pues tiene un campo magnético muy intenso y variable, que va cambiando de año a año. La orientación de sus polos magnéticos cambia cada vez que alcanza su máximo de actividad, lo cual ocurre una vez por ciclo (cada 11 años aproximadamente), como muestran los datos registrados en la Figura 14.

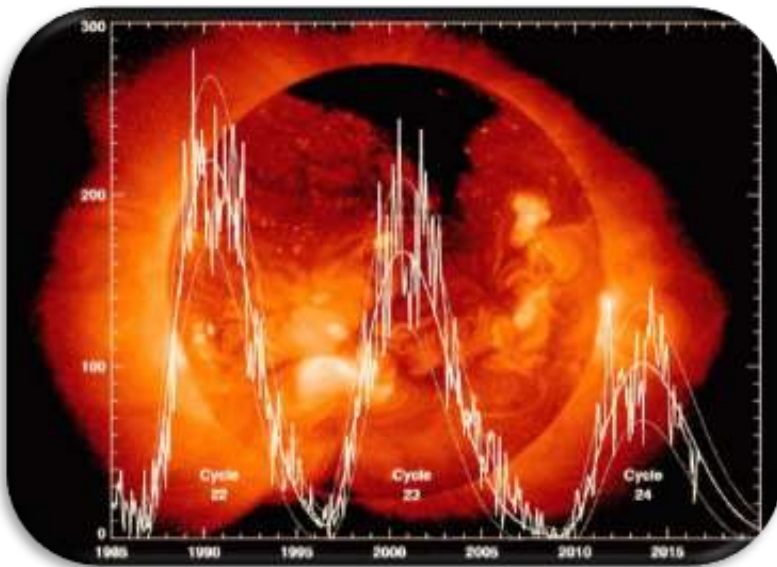


Figura 14: Ciclos de actividad del Sol. (Créditos <https://ciencia.>)

La actividad magnética del Sol produce numerosos efectos, que todos juntos se conocen como **actividad solar**. La Figura 15 muestra algunos de ellos como las **llamaradas** (solar flares en inglés), **prominencias** (erupting prominence en inglés), **manchas** en su superficie (conocidas como sunspots en inglés) y **eyecciones de masa coronal** (coronal mass ejections en inglés) de varios tipos que se envían al **viento solar**, entre otros.

Para más información sobre los distintos efectos causados por el campo magnético, os invitamos a visitar el [cuadernillo de CESAR sobre el Sol](#).

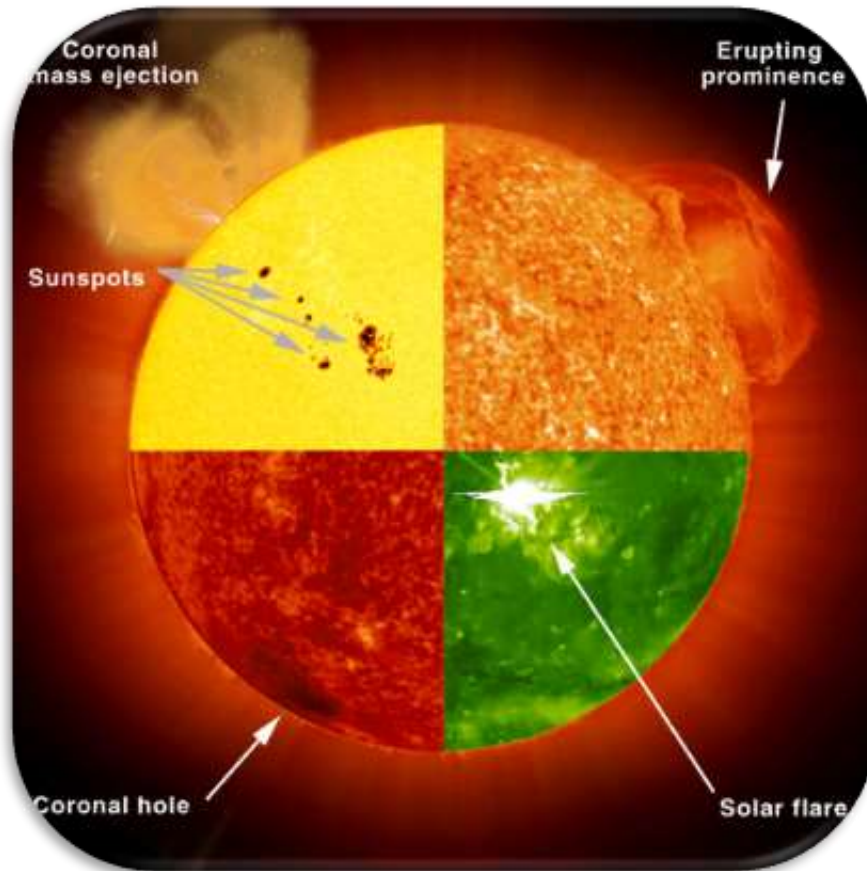


Figura 15:

entre los distintos efectos de la actividad solar. (Créditos: [geomag](#))

Conexión

Actividad 4.1: Las eyecciones de masa coronal (Coronal Mass Ejections en inglés o CME):

Las eyecciones de masa coronal, también llamadas CME por ser las siglas en inglés de Coronal Mass Ejections, son nubes de material solar (plasma) emitidas desde el Sol. Tienden a aparecer cuando los haces de líneas de campo magnético, que contienen plasma solar, se entrelazan y se reconectan, lo que hace que el material se escape a gran velocidad. A menudo son una consecuencia de la erupción de la prominencia solar. Esto ocurre de manera muy repentina, recombinándose rápidamente entre sí, habiendo eyectado parte del material del Sol y alcanzado unas velocidades de unos 1 000 km/s. A veces ocurren a la vez que las **llamaradas**, pero mientras que las primeras sólo emiten luz, las eyecciones de masa coronal envían materia hacia el Sistema Solar, en el viento solar, pudiendo alcanzar la Tierra.

1. ¿En qué capas del Sol crees que se encuentran las eyecciones de masa coronal?

Actividad 4.2: La influencia del Sol sobre la Tierra

El Sol permite la **existencia de vida** (Figura 17, zona de habitabilidad¹), tal y como la conocemos en la Tierra, y sus variaciones en su actividad impactan en nosotros a muchos niveles.

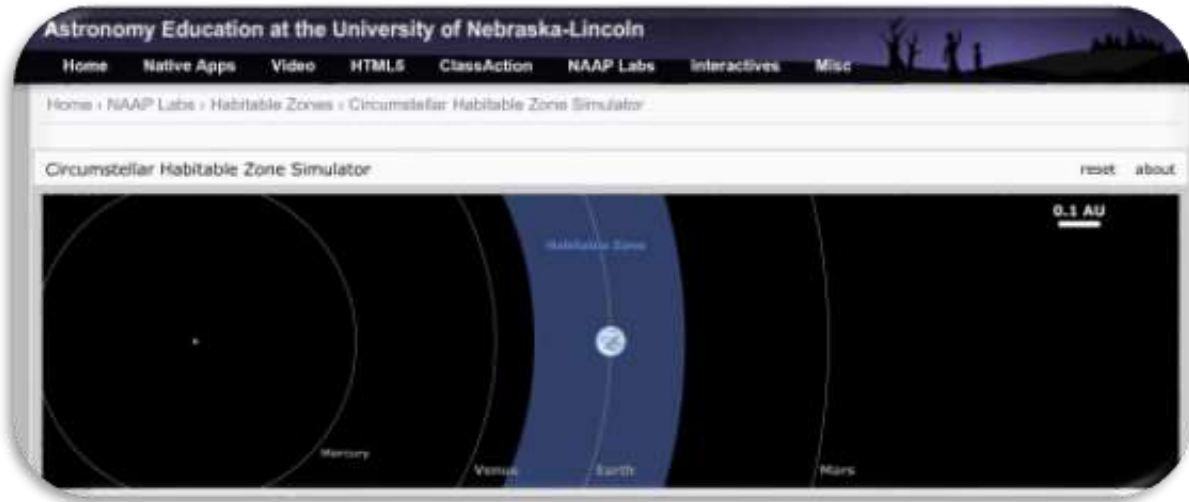


Figura 16: Zona de habitabilidad entorno al Sol donde la Tierra. (Creditos: Astronomy Education at the University of Nebraska-Lincoln)

La mayor parte de los planetas del Sistema Solar, se encuentran rodeados por unas envolturas magnéticas de gran tamaño. Se conocen como magnetosferas y son producidas por la actividad en el interior del planeta. Éstas forman las mayores estructuras del Sistema Solar, llegando a ser entre 10 y 100 veces más grandes que el propio planeta.

El viento solar interacciona con estas “burbujas magnéticas” pudiendo moverlas y deformarlas. Pueden ser por tanto inducidas por esta interacción con el viento solar con su ionosfera (Venus y cometas) o por un proceso de dinamo magnética (como ocurre en Mercurio, la Tierra o planetas gigantes).

El campo magnético de la Tierra es muy estable y no cambia mucho a lo largo del tiempo, a diferencia del campo magnético solar. Sin embargo, parte de la radiación ultravioleta consigue atravesar la atmósfera y por ello debemos protegernos.

¹ Zona de habitabilidad: https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_habitabilidad. Para más detalles sobre zonas de habitabilidad entorno a una estrella, te animamos a descubrir esta [actividad de GoLabz](#).

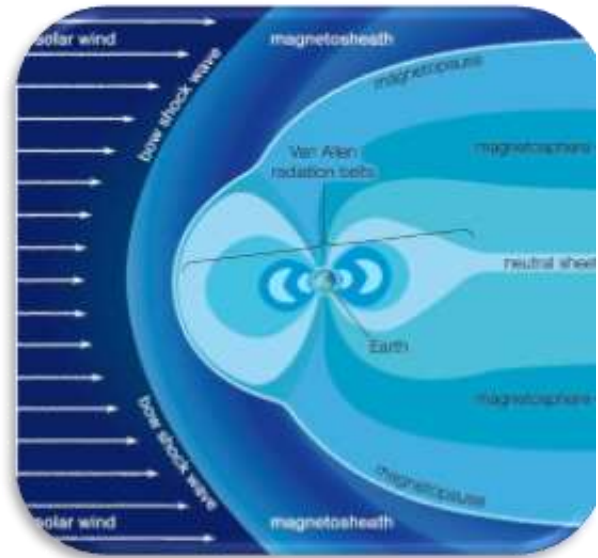
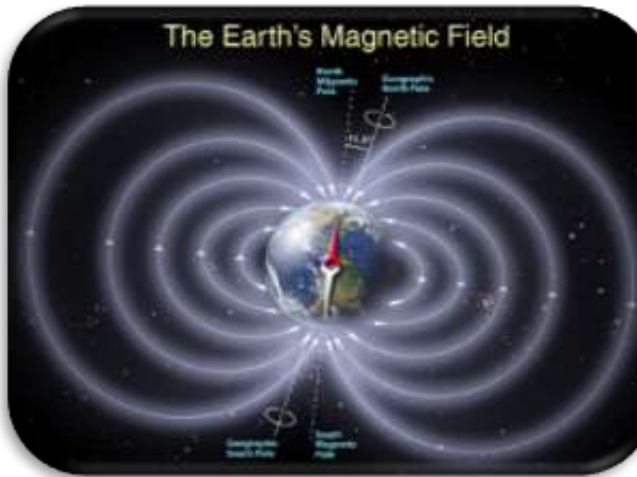


Figura 17: Campo magnético de la Tierra y la influencia del viento solar sobre éste. (Créditos NASA, ESA)

1. Mira este [video TED-ED](#) para ver el efecto del Sol sobre las personas y la necesidad de usar crema solar.

2. Dibuja cómo crees que podría afectar a la actividad magnética del Sol en la Tierra.



*Figure 18: Campo magnético de la Tierra y su efecto sobre el Sol y los satélites.
(Créditos: ESA)*

3. ¿Crees que existe alguna relación entre el Sol y las Auroras Boreales?



Figura 19: Formación Auroras Boreales (Créditos: www.meteorologiaenred.com)

4. Mira el siguiente [video](#) explica la aparición de las Auroras Boreales como causa de la influencia del Sol sobre el campo magnético de la Tierra. ¿Qué otras influencias crees que puede causar la actividad solar sobre la Tierra?



Actividad 5: La Exploración Espacial del Sol por la Agencia Espacial Europea (ESA).

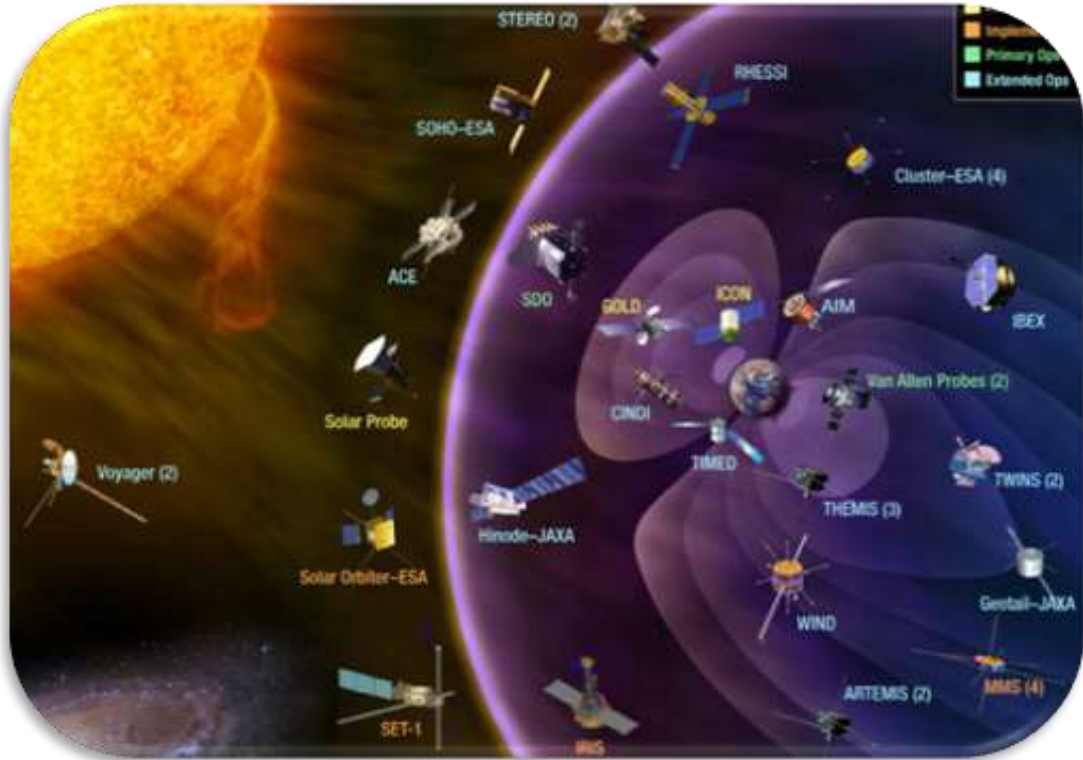


Figura 20: Flota de misiones de la Agencia Espacial Europea. (Créditos: www.fidefundacion.es)

Desde hace más de dos décadas, la Agencia Espacial Europea (ESA), junto con la Agencia Espacial Norteamericana (NASA), estudian el Sol, pues sus variaciones pueden afectar de manera importante a la Tierra. La Figura 20 muestra todas ellas y la Figura 21 aquellas con una alta contribución Europea (**PROBA-2**, **SOHO** y **Solar Orbiter**). El campo de la física que estudia el Sol se llama **Heliofísica**.

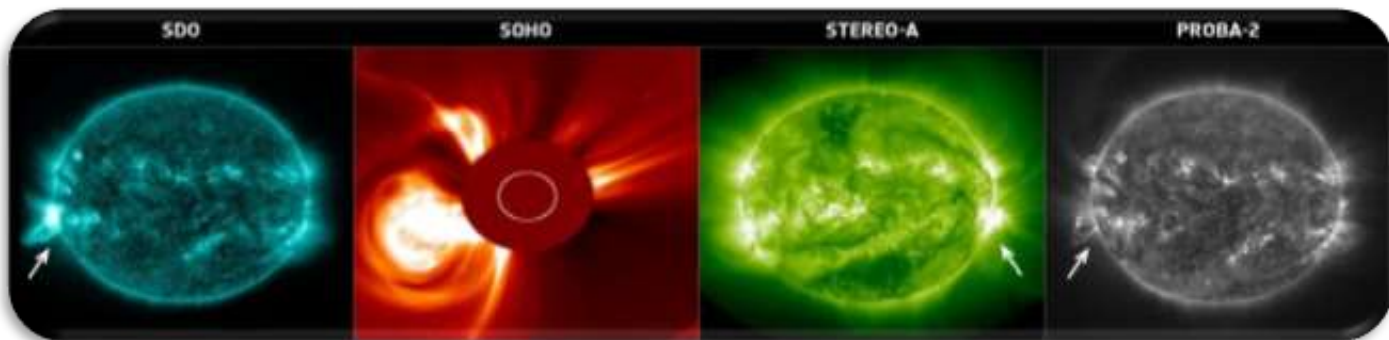


Figura 21: El Sol observado en diferentes filtros (Créditos: kiri2ll.livejournal.com)

Actividad 5.1: Solar Orbiter (SOLO)



Figura 22: Simulación SOLO, ESA. (Créditos: ESA)

La misión Solar Orbiter es una misión dirigida por ESA con fuerte colaboración de NASA, enviada al Sol en febrero del 2020, con el principal objetivo de estudiar de cerca el Sol, sus polos. En particular analizará el comportamiento de sus campos magnéticos para predecir el comportamiento de la estrella de la cual dependen nuestras vidas.



Figura 23: Lanzamiento de SOLO, ESA. (Créditos: ESA-S. Corvaja)



Descubre el [blog de viaje y actividades educativas](#) (en inglés) creadas por la científica de la misión SOLO, Dra. Anik de Groof, para relatar su viaje a ver el lanzamiento de la misión en Febrero del 2020. Aquí un [video del lanzamiento de la misión SOLO](#).

Los siguientes links son recursos extra para conocer las misiones encargadas del estudio del Sol:

- [Misiones de ESA al Sol](#)
- [Simuladores 3D de la Flota de naves de la Agencia Espacial Europea](#)
- [La misión ESA SWARM](#) estudia las variaciones de los campos magnéticos de la Tierra.

Actividad 5.2: El Telescopio Solar CESAR (HELIOS)

El telescopio HELIOS, como muestra la Figura 24, es un telescopio solar que pertenece al Equipo CESAR y se encuentra instalado en ESAC desde el 2012. Su objetivo fundamental es observar el disco del Sol cada día (en el rango visible y H-alpha) como muestra el calendario creado con las imágenes del Sol tomadas en el 2017 en la Figura 25.



Figura 24: Observatorio solar HELIOS (Créditos: CESAR)

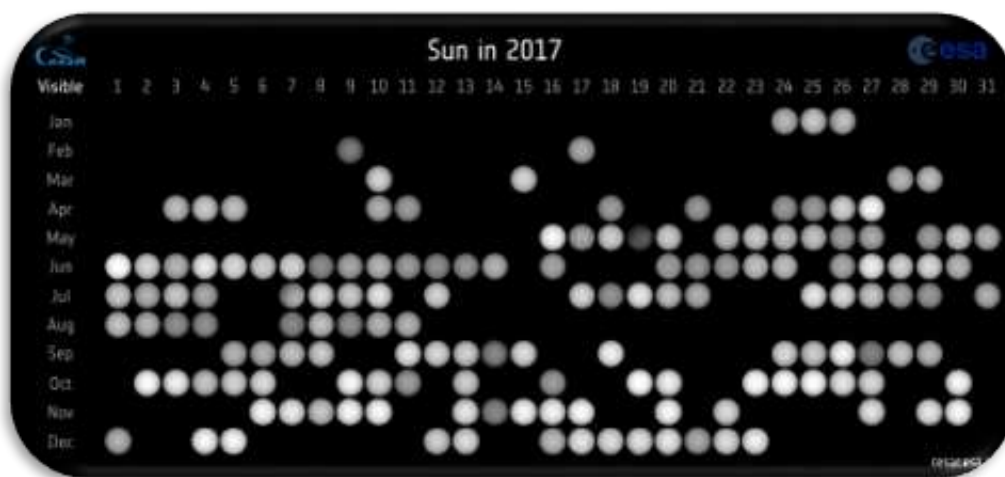


Figura 25: Calendario de 2017, creado con las imágenes del disco del Sol este año. (Créditos: CESAR)



De los datos científicos, el Equipo CESAR crea material educativo como el de este Reto Científico. Para más información sobre telescopio CESAR, acceder al siguiente [link](#).

Curiosidad: Para ver la última imagen del telescopio HELIOS accede a [“El Sol en directo”](#)

Actividad 6: [Evalúa lo que has aprendido hasta ahora](#)

Comprueba lo que has aprendido hasta ahora con este [cuestionario](#)



Fase 2

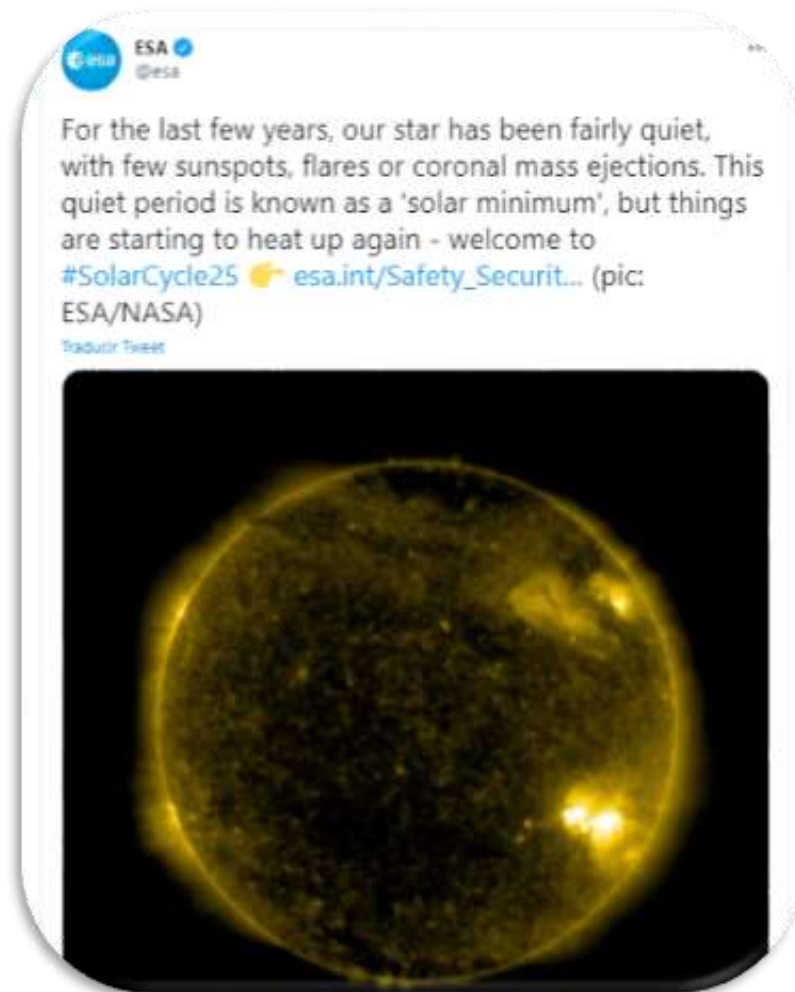


Figura 26: Imagen del Sol tomada por una misión ESA (Créditos: <https://twitter.com/esa/status/1322117428806123520>)



Fase 3



Esta fase está estructurada según **el método científico**. Para ello, primero haréis una **hipótesis**² sobre el tema a descubrir (el de vuestro Reto), después haréis un **experimento** (procedimiento) con datos reales sobre la cuestión y finalmente llegareis a vuestras propias **conclusiones** (y chequearéis vuestras hipótesis).

¿Estas preparad@ para trabajar como un/a científic@? ¡Adelante!

Actividad 8: ¿Cuánto tiempo tardaría en llegar una tormenta solar a la Tierra?

A partir de datos reales de la misión científica ESA/NASA SOHO, puedes estudiar la evolución de una eyección de masa coronal (CME) y así calcular el tiempo que dicha CME tardaría en llegar a la Tierra, desde que es detectada por el satélite.

En esta Actividad consideramos **un escenario en el que la eyección avanza siguiendo un MRU** y os proponemos dos tipos de Experimentos:

- **Experimento 1:** empleando una herramienta on-line ([Actividad 8.1](#))
- **Experimento 2:** empleando imágenes impresas ([Actividad 8.2](#))

Hipótesis:

Revisa tus respuestas de la Actividad 2

1. ¿Cuánto tiempo crees que tardaría una CME en llegar desde la Tierra al Sol, sabiendo que la distancia Tierra-Sol es de unos 150 000 000 km

4. ¿Crees que todas estas erupciones solares tardarán lo mismo en llegar a la Tierra?

² Una hipótesis se puede usar como una propuesta provisional que no se pretende demostrar estrictamente, o puede ser una [predicción](#) que se debe verificar por el [método científico](#).

[https://es.wikipedia.org/wiki/Hip%C3%B3tesis_\(m%C3%A9todo_cient%C3%ADfico\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Hip%C3%B3tesis_(m%C3%A9todo_cient%C3%ADfico))

Experimento 1

Actividad 8.1: Versión on-line

Vista general:

- **Datos:** Imágenes tomadas por [el instrumento LASCO](#) a bordo del satélite SOHO. En ellas vemos un disco bloqueando la luz del Sol, llamado [coronógrafo](#). Sólo podemos ver las partes externas del Sol donde suceden las eyecciones de masa coronal. El círculo blanco representa la superficie del Sol o fotosfera.
- **Herramientas:**
 - [Herramienta web diseñada por el Equipo CESAR](#)
 - Calculadora
- **Video tutorial:** <https://youtu.be/SR1qIKo2ao8>

Preparación:

- Mira el [video tutorial](#) y repite el ejercicio para CME captada por SOHO el día 13-05-2013.
- **Accede a la herramienta web CESAR [“Estudio de Eyecciones de Masa Coronal”](#)**
- **Recomendaciones:**
 - Puedes hacer las mediciones tantas veces como quieras (pinchar en el centro del Sol y en un extremo) hasta que la medición sea la válida para tí.
 - La nomenclatura empleada en las medidas contiene espacios para indicar kilómetros, sin embargo, **la herramienta requiere que no haya espacios entre los números para realizar los cálculos.**

Procedimiento

- **Paso 1/4: Elige un conjunto de imágenes** en la herramienta web (por ejemplo, la Opción 3). Cada uno de estos conjuntos corresponde a cuatro imágenes consecutivas de una eyección.

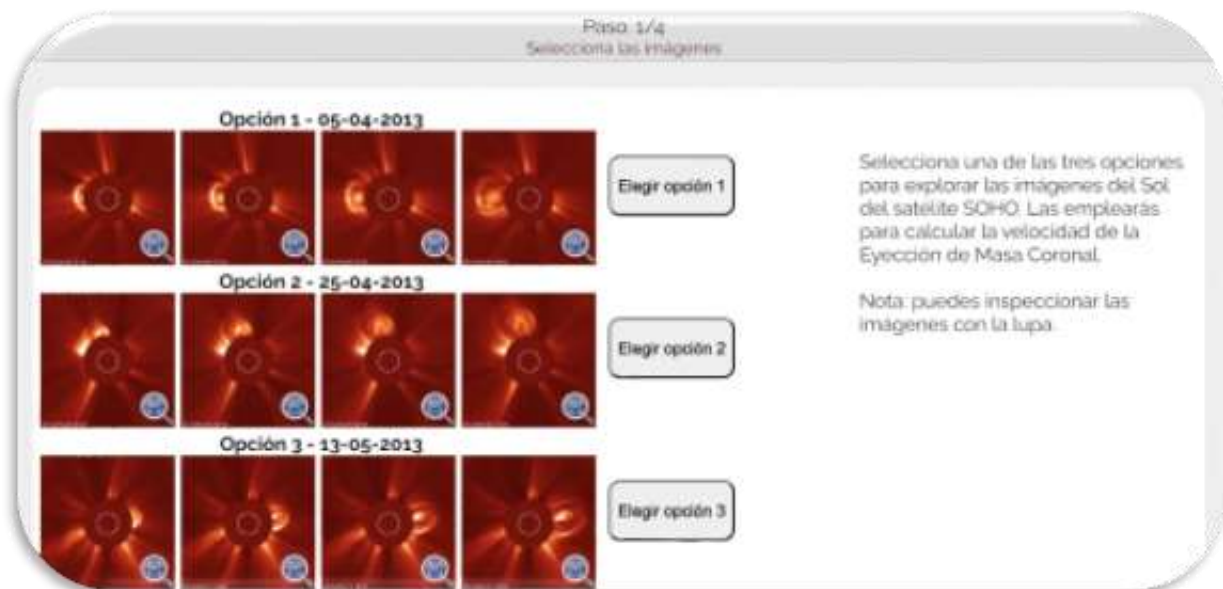


Figura 28: Paso 1 de 4 de la herramienta web. (Créditos: CESAR)

- **Paso 2/4 (I): Calcula el radio del Sol** para conocer la escala de la imagen.
 - Pincha con el ratón en el centro del Sol (cruz negra) y después en cualquier parte del círculo blanco (Nota: El círculo blanco indica el tamaño real del Sol).

Esto permitirá internamente a la herramienta hacer la conversión de cuántos kilómetros del Sol son representados por cada pixel de la imagen.
- **Paso 2/4 (II): Para cada imagen mide la longitud de la eyección de masa coronal.**
 - Pincha en el centro del Sol y en el extremo de la eyección.
 - Repite esta acción para las otras tres imágenes.

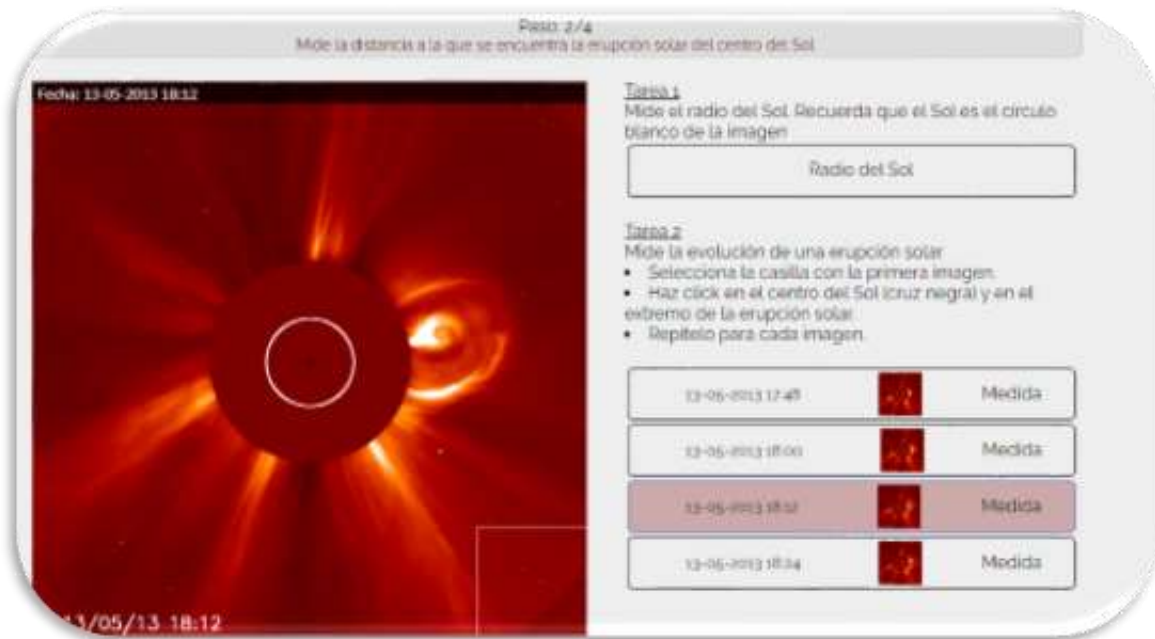


Figura 29: Paso 2 de 4 de la herramienta web. (Créditos: CESAR)

- **Paso 3/4: Calcula la velocidad de la eyección entre imágenes.**
 - Rellena en el numerador la longitud de la eyección en la imagen_(N) y en la imagen_(N-1) **en kilómetros, para poder medir el avance de la CME.**
 - Rellena en el denominador la **diferencia de tiempos** entre la imagen_(N) y la imagen_(N-1), **en segundos.** (Nota: El tiempo en que las imágenes fueron tomadas viene dado como DD/MM/YYYY hh:mm, siendo *DD* el día, del mes *MM* del año *YYYY* a la hora *hh* y minutos *mm*. La herramienta web los muestra como DD-MM-YYYY).

Paso: 3/4
Calcula la velocidad

Imagen 1
Distancia: 1 006 750 km
Fecha: 13-05-2013 17:48

Imagen 2
Distancia: 1 110 386 km
Fecha: 13-05-2013 18:00

Imagen 3
Distancia: 1 302 863 km
Fecha: 13-05-2013 18:12

Imagen 4
Distancia: 1 517 528 km
Fecha: 13-05-2013 18:24

Calcula la velocidad de la erupción solar

$V_{1-2} = \frac{\text{[] km}}{\text{[] s}} = \text{[] km/s}$

$V_{2-3} = \frac{\text{[] km}}{\text{[] s}} = \text{[] km/s}$

$V_{3-4} = \frac{\text{[] km}}{\text{[] s}} = \text{[] km/s}$

Introduce la variación de tiempo y posición de la eyección entre pares de imágenes. Pulsa el botón de calcular.

Figura 30: Paso 3 de 4 de la herramienta web. (Créditos: CESAR)

- **Paso 4/4 (I): Calcula la velocidad media de la eyección.**
 - Emplea los valores de las tres velocidades (calculadas entre pares de imágenes) en el Paso 3 para obtener la velocidad media
- **Paso 4/4 (II): Calcula el tiempo que tardaría la eyección en recorrer la distancia Sol-Tierra.**
 - Introduce la velocidad media que has calculado en la herramienta (consideramos MRU).
 - Introduce la distancia Sol-Tierra, que es 150 000 000 km .

Paso: 4/4
Calcula el tiempo que la erupción solar tarda en llegar a la Tierra

Velocidad de cada par de imágenes:

$V_{1-2} = \text{[] km/s}$

$V_{2-3} = 59.84 \text{ km/s}$

$V_{3-4} = 8.070.35 \text{ km/s}$

Calcula la velocidad media

Toma las velocidades de la erupción solar y calcula la velocidad media.

$V_m = \text{[] km/s}$

Calcula el tiempo

Con la velocidad media calcula el tiempo.

$t_m = \frac{\text{[] km}}{\text{[] km/s}} = \text{[] s}$

Figura 31: Paso 4 de 4 de la herramienta web. (Créditos: CESAR)

Experimento 2:

Actividad 8.2: Versión usando imágenes impresas

Vista general:

- **Datos:** Imágenes tomados por [el instrumento LASCO](#) a bordo del satélite SOHO. En ellas vemos un disco bloqueando la luz del Sol llamado [coronógrafo](#). Sólo podemos ver las partes externas del Sol donde suceden las eyecciones de masa coronal. El círculo blanco representa la superficie del Sol o fotosfera.
- **Herramientas:**
 - Regla
 - Calculadora

Preparación:

- Descarga e imprime las imágenes en este [link](#).
- **Recomendaciones:** Presta a atención a la dirección predominante de la eyección para las medidas.
- **Posibles soluciones:** presentamos una posible solución que puede corresponder o no con el calculado por los alumnos.

Procedimiento:

- **Paso 1 /4:** Inspecciona las imágenes de SOHO.
- **Paso 2/4 (I): Calcula el radio del Sol** para conocer la escala de la imagen.
 - Mide con la regla desde el centro del Sol (cruz amarilla) hasta cualquier parte del círculo blanco (Nota: El círculo blanco indica el tamaño real del Sol).
- **Paso 2/4 (II):** Para cada imagen **mide la longitud de la CME y el tiempo**.
 - Mide con la regla la distancia desde el centro del Sol al extremo de la eyección.
 - **Rellena la Tabla 4 con:**
 - **la fecha** en la que la imagen fue tomada (Nota: Ésta se puede encontrar en el formato DD/MM/YYYY hh:mm, siendo *DD* el día, del mes *MM* del año *YYYY* a la hora *hh* y minutos *mm*).
 - **La longitud de la eyección de masa coronal**
 - Repite esta acción para las otras tres imágenes.

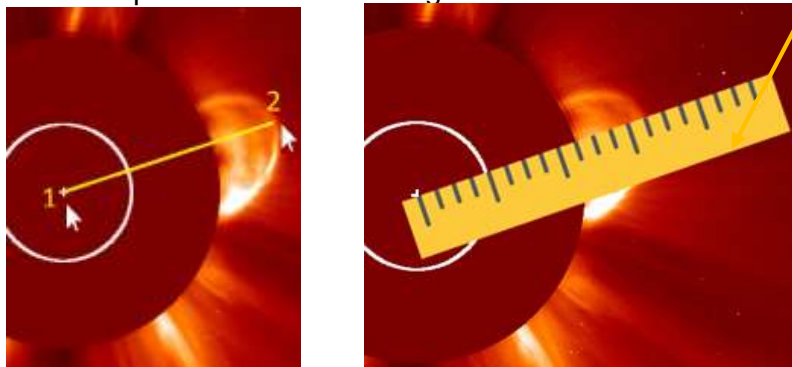


Figura 30: Cómo realizar las medidas en ambas versiones: Online (izquierda) e Impresa (derecha). (Créditos: CESAR)

Imagen	Fecha y hora (DD/MM/YYYY hh:mm)	Longitud de la CME (en milímetros)
1		
2		
3		
4		

Tabla 4: Longitud de la llamarada de un conjunto de imágenes

○ **Paso 3/4: Calcula la velocidad de la CME entre imágenes**

○ Rellena la **Tabla 5** con:

- **La diferencia de tiempo** entre la imagen_(N) e imagen_(N-1), **en segundos**. (Nota: El tiempo en que las imágenes fueron tomadas viene dado como DD/MM/YYYY hh:mm, siendo *DD* el día, del mes *MM* del año *YYYY* a la hora *hh* y minutos *mm*).
- La diferencia de longitud (avance de la eyección) de la CME entre la imagen_(N) e imagen_(N-1) **en kilómetros**.

Par de imágenes	Diferencia de tiempo entre imágenes (s)	La distancia que la CME ha recorrido entre ambas imágenes (km)	Velocidades de CME (km/s)
(1,2)			
(2,3)			
(3,4)			

Tabla 5: Longitud de la llamarada de un conjunto de imagen

• **Paso 4/4 (I): Calcula la velocidad media de la eyección.**

- Emplea los valores de las tres velocidades (calculadas entre pares de imágenes) en la Tabla 5 para obtener la velocidad media.

• **Paso 4/4 (II): Calcula el tiempo que tardaría la eyección en recorrer la distancia Sol-Tierra.**

- Considerando que la eyección avanza siguiendo un MRU, calcula el tiempo que tardaría esta eyección en llegar a la Tierra usando la Ecuación 1 de la [Actividad 1](#):

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow t = \frac{s}{v}$$

- *v* es la velocidad media que has calculado en el paso anterior (consideramos MRU).
- *s* es la distancia Sol-Tierra, que es 150 000 000 km.



Conclusiones

1. A partir de tus observaciones ¿A qué velocidad media viaja la CME?

2. ¿Cuánto tiempo tarda una erupción solar en llegar desde la Tierra al Sol, sabiendo que la distancia Tierra-Sol es de unos 150 000 000 km?

3. ¿Crees que todas estas erupciones solares tardarán lo mismo en llegar a la Tierra?



Actividad 9: La eyección coronal evoluciona siguiendo un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA):

Hipótesis

¿Se moverá la eyección a velocidad constante? Y si no fuera así, crees que experimentan algún tipo de aceleración?

Experimento

En esta Actividad consideramos la diferencia de velocidades entre los pares de imágenes, pues en realidad el movimiento de la eyección sufre una aceleración. De nuevo, por simplicidad consideramos que el movimiento de la eyección es lineal y uniformemente acelerado.

1. Comenzamos esta Actividad retomando las velocidades calculadas en la [Actividad 8](#):
 - **Extensión de Actividad 8.1:** A partir de los datos del Paso 3 de 4 (Tabla 4)
 - **Extensión de Actividad 8.2:** A partir de los datos del Paso 3 de 4 (Tabla 4)
2. Haz una gráfica representando:
 - En el eje Y: la **diferencia entre las longitudes** ($s_n - s_{(n-1)}$), en kilómetros, obtenidas a partir de las imágenes n y $(n-1)$.
 - En el eje X: la **diferencia de tiempos** ($t_n - t_{(n-1)}$), en segundos, obtenidas a partir de las imágenes n y $(n-1)$.

Conclusiones

1. ¿Qué tipo de movimiento sigue la eyección? ¿A qué crees que se debe?

2. Calcula el tiempo de llegada de la eyección a la Tierra utilizando la Ecuación 3.

$$v = v_0 + a t$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \Rightarrow$$



$$t = \frac{(v - v_0)}{a}$$

$$\Delta s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \Rightarrow$$

$$\Delta s = v_0 \frac{(v - v_0)}{a} + \frac{1}{2} a \left[\frac{v - v_0}{a} \right]^2$$

$$2 a \Delta s = (v^2 - v_0^2)$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2 a \Delta s} \Rightarrow$$

$$t = \frac{(v - v_0)}{a} = \frac{(\sqrt{v_0^2 + 2 a \Delta s} - v_0)}{a} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde

- Δs : la distancia máxima del centro del Sol al extremo de la eyección (medida en la última imagen),
- v_0 : la velocidad del primer par de imágenes (v_{1-2})
- a : la aceleración obtenida anteriormente

Curiosidad: El movimiento real de la eyección no tiene esta aceleración constante, sino que ésta va disminuyendo debido a la fricción con el medio interplanetario, especialmente con el viento solar que se encuentra a su paso. En la Figura 0000 podemos ver la densidad de este material, y también la distribución de velocidades según las eyecciones se alejan del Sol.

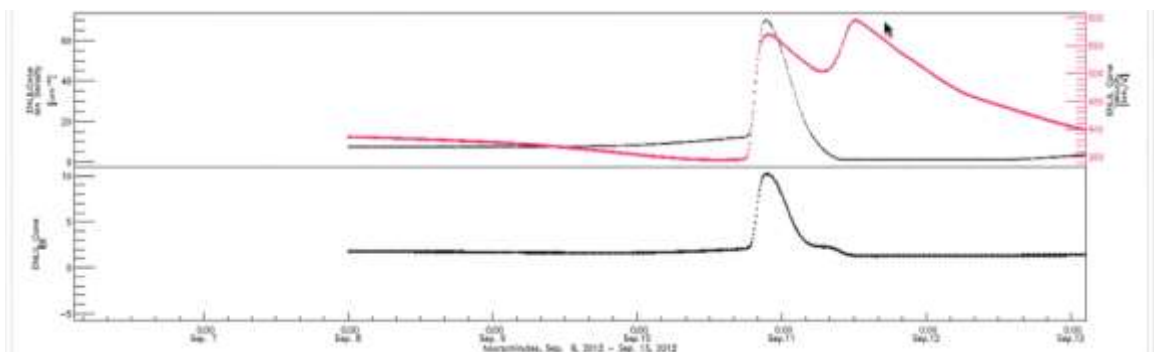


Figura 32: Gráfica velocidad-distancia al Sol. (Créditos: SpaceWeather)



Fase 4



**¡ Enhorabuena !
¡ Has completado tu Reto Científico !
¡ Cuéntanos tu historia !**

Párate a pensar en la Experiencia con tu Equipo y profes y completa estas Actividades.

Actividad 10: Evaluación

- **En Equipos:** Rellenad este [cuestionario](#) para que comprobéis lo aprendido en el Reto.
- **Con vuestro@ profe:** Dadnos vuestro feedback

Actividad 11: Preséntanos tus resultados

Los estudiantes deberán crear un producto final (un poster A0 en formato pdf, usando power point, por ejemplo) mostrando lo que han aprendido en las distintas fases del Reto Científico.

Este poster es el billete para participar en el concurso internacional de *Aventuras CESAR*.



Enlaces



ENLACES DE LA FASE 0:

VIDEOS:

- This is ESA: <https://www.youtube.com/watch?v=9wdbNU7Pu8U&feature=youtu.be>
- ESAC: La ventana de ESA al Universo:
http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2015/01/ESAC_ESA_s_Window_on_the_Universe
- Presentation to ESA/ESAC/CESAR by Dr. Javier Ventura:
<http://cesar.esa.int/index.php?Section=Multimedia&Id=63>
- Otros videos inspiracionales sobre Espacio:
http://cesar.esa.int/index.php?Section=SSE_Videos_NEW&ChangeLang=es
- Video inspiracional en educación:
https://www.youtube.com/watch?v=_qgVKmOsqV8&t=36s

APP/JUEGO/CUESTIONARIO:

- Simulación de cinemática: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/112-cinematica>

WEBS:

- Katherine Johnson: <https://kids.britannica.com/kids/article/Katherine-Johnson/628677>
- Vera Rubin: <https://www.nytimes.com/2016/12/27/science/vera-rubin-astronomist-who-made-the-case-for-dark-matter-dies-at-88.html>
- Samantha Cristoforetti: <https://www.nytimes.com/2016/12/27/science/vera-rubin-astronomist-who-made-the-case-for-dark-matter-dies-at-88.html>
- Marie Curie: https://es.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie
- Steve Wozniak: https://es.wikipedia.org/wiki/Steve_Wozniak
- Matt Taylor: <https://www.famousbirthdays.com/people/matt-taylor-scientist.html>
- Pedro Duque:
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Astronauts/Pedro_Duque
- Albert Einstein: https://es.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein
- Sistema Internacional de Unidades:
https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades

ENLACES DE LA FASE 1:

VIDEOS:

- Velocidad y aceleración: <https://www.youtube.com/watch?v=p3EldFAeR00>
- ¿Qué es el plasma?: <https://www.youtube.com/watch?v=2Ht-DHIAd08>
- 10 curiosidades del Sistema solar: <https://www.youtube.com/watch?v=XaEsvetxAL0>
- Descubriendo el electromagnetismo: <https://www.youtube.com/watch?v=FN-tnH36ojY>
- ¿Cuál crees que es la fuerza mayor del Universo?:
https://www.youtube.com/watch?v=AQnkWw_IQ8g
- ¿Cómo funcionan las centrales nucleares?:
https://www.youtube.com/watch?v=_qgVKmOsqV8&t=36s



- El Sol nuestra estrella local
[http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/07/Science_ESA_Episode_8_The_Sun_our_local_star/\(lang\)/es](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/07/Science_ESA_Episode_8_The_Sun_our_local_star/(lang)/es)
- Las radiaciones dañinas del Sol: <https://www.youtube.com/watch?v=ZSJITdsTze0>
- Auroras Boreales: <https://www.youtube.com/watch?v=1DXHE4kt3Fw>
- Solar Orbiter (varios):
[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Missions/Solar_Orbiter/\(result_type\)/videos](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Missions/Solar_Orbiter/(result_type)/videos)
- Lanzamiento de SOLO:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/02/Solar_Orbiter_launch_highlights
- Misiones de ESA al Sol:
[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Missions/Solar_Orbiter/\(result_type\)/videos](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Missions/Solar_Orbiter/(result_type)/videos)
- La misión ESA SWARM:
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Swarm/Highlights/Earth_s_magnetic_field
- El espectro electromagnético y su estudio por misiones ESA:
https://dlmultimedia.esa.int/download/public/videos/2013/07/020/1307_020_AR_ES.mp4
- COSMOGRAPHIA: <https://www.youtube.com/watch?v=VBO9MDt8Gvs>

APP/JUEGO/CUESTIONARIO:

- Juego del Sol: <https://www.purposegames.com/game/layers-of-the-sun-game>
- Tabla periódica: <https://www.phtable.com/?lang=es>
- ¿De qué están hechas las estrellas?:
http://cesar.esa.int/index.php?Section=SSE_Composicion_de_las_estrellas_portada
- Analiza el espectro de estrellas: <https://spectralworkbench.org/>
- Flota de naves de la Agencia Espacial Europea : <http://scifleet.esa.int/#/>.
- El Sol: <http://scifleet.esa.int/#/model/sun>
- SOHO: <http://scifleet.esa.int/#/model/soho>
- SOLO: http://scifleet.esa.int/#/model/solar_orbiter
- blog de viaje y actividades educativas: <https://www.solarorbiterforkids.com/>

WEBS:

- La estructura del Sol: http://cesar.esa.int/upload/201809/la_estructura_del_sol_booklet.pdf
- El Sistema Solar (en inglés):
http://cesar.esa.int/upload/201905/jupiter_moons_booklet_pdf.pdf
- La evolución de las estrellas:
http://cesar.esa.int/upload/201809/mod_evolucion_estelar_booklet.pdf
- El Sol magnético: http://cesar.esa.int/upload/201809/el_sol_magnetico_booklet_es.pdf
- Explorando el Sol: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Explorando_el_Sol
- El Sol en el 2018: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/El_Sol_en_2018
- El estudio del Sol por el Equipo CESAR:
<http://cesar.esa.int/index.php?Section=News&Id=183>
- El Sol en directo: http://cesar.esa.int/index.php?Section=Live_Sun
- Observatorios solares CESAR:
http://cesar.esa.int/index.php?Section=Observatories_ESAC_Sun
- Eclipses solares:
https://www.esa.int/kids/es/Aprende/Nuestro_Universo/El_Sol/Eclipses_solares



- Misión ESA Proba-2:
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Proba_Missions/About_Proba-2
- Misión ESA SOHO: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/SOHO_overview2
- Misión ESA Solar Orbiter: <http://sci.esa.int/solar-orbiter/>

ENLACES DE LA FASE 2:

ENLACES DE LA FASE 3:

VIDEOS:

- Instrumento LASCO
[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Keywords/System/SOHO_LASCO_coronagraph/\(result_type\)/videos](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Keywords/System/SOHO_LASCO_coronagraph/(result_type)/videos)
- Video tutorial para Actividad 8:
<https://drive.google.com/file/d/1Zn410gfmi9IYnehDhDhWypS0LV4CxxC1t/view>

APP/JUEGO/CUESTIONARIO:

- Herramienta web:
http://cesar.esa.int/tools/15.coronal_mass_ejections/index.php?ChangeLang=es

WEBS:

- Coronógrafo: <https://es.wikipedia.org/wiki/Coron%C3%B3grafo>
- Datos de la Actividad 8.2: http://cesar.esa.int/upload/202009/ficha-motionmassejection_modbea_2013.pdf

ENLACES DE LA FASE 4:

VIDEOS:

APP/JUEGO/CUESTIONARIO:

- Cuestionario: <http://cesar.esa.int/form.php?Id=11&k=9gPSn9hqRN&ChangeLang=es>

WEBS:

- Bases del concurso SSE: http://cesar.esa.int/upload/202001/bases_concurso_sse_final.pdf

Créditos:

Este Reto Científico contiene parte del material de actividades educativas generadas a través de colaboraciones entre CESAR y Planeta Ciencias. El Equipo CESAR cuenta con el apoyo de [Young Graduate Trainee \(YGT\) Programme](#).

Agradecimiento a los científicos de la misión SOLO (Dr. David Willians y Dra. Anik de Groof) por sus comentarios expertos.