



Reto científico CESAR

¿Cuánto es la masa de Júpiter?

*Calcula la masa de un planeta a partir
del movimiento de sus lunas*

Guía de el/la Estudiante





Tabla de contenidos

Tu Reto Científico	3
Fase 0	5
Fase 1	7
Actividad 1: Refresca estos conceptos.	8
Actividad 2: Compara Júpiter y la Tierra	12
Actividad 3: El Sistema Joviano.....	13
Actividad 4: La exploración espacial de Júpiter por la Agencia Espacial Europea.....	14
Enlaces	16
Créditos:	18



Tu Reto Científico

¿Cómo ponerte en contacto con tus vecinos desconocidos?

Júpiter es el planeta más grande de nuestro Sistema Solar y a partir del análisis de sus datos, los científicos consideran que se podría encontrar vida bajo el agua de algunas de sus lunas galileanas. Si la encontramos y cómo será es aún una pregunta abierta.



Figura 1: La película "Contact". (Créditos: Warner Bros)

La misión JUICE - JUpiter ICy Moons Explorer - está planificada para ser lanzada en 2022 y llegará Júpiter entorno al 2030. Su objetivo es estar tres años haciendo observaciones detalladas de Júpiter y Ganímedes, Calisto y Europa.



Figura 2: Tu desafío es saber cuánto es la masa de Júpiter. (Créditos: ESA)

Para diseñar la órbita de nuestro viaje al sistema joviano, debemos saber cuánto es la masa de Júpiter, **¿nos ayudarás a calcularla?**



Fase 0

Para poneros en contexto os recomendamos ver estos videos:

- [Esto es ESA](#) (10 min)
- [ESAC: Una ventana al Universo de ESA](#) (3 min)
- [Presentación de ESA/ESAC/CESAR by Dr. Javier Ventura](#) (15 min)
- Otros [videos](#) complementarios sobre el espacio.

Trabajareis en equipos de (4-6) personas, teniendo cada uno un papel específico. Rellena la Tabla 1 con el nombre del equipo y de los miembros del equipo asociados a varias profesiones relacionadas con el Espacio.

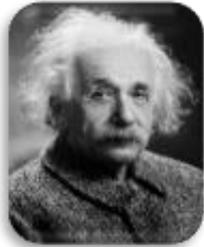
Identificador del Reto	Número del Equipo (1-6):			
Nombre de Miembros del Equipo				
Profesiones	Matemátic@/ Ingenier@ de software	Astrofísic@	Ingenier@	Químic@/Físic@
Roles	Lidera la correcta ejecución de los cálculos	Lidera el uso del telescopio y el entendimiento de misiones espaciales.	Encargada 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	Katherine Johnson	Vera Rubin	Samantha Cristoforetti	Marie Curie
(femenina)				
(masculina)	Steve Wozniak	Matt Taylor	Pedro Duque	Albert Einstein
				

Tabla 0: Equipo de trabajo para resolver este Reto

Nota: El documento hace uso del [Sistema Internacional](#)



Fase 1



Actividad 1: Refresca estos conceptos.

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

Masa y peso	La Gravedad	periodo orbital
Las Leyes de Kepler		

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

Las leyes de Kepler

Las Leyes de Kepler, publicadas entre 1609 y 1619, condujeron a una gran revolución en el siglo XVII. Estas fueron el resultado de aplicar las matemáticas a las observaciones astronómicas realizadas por Tycho Brahe (1546-1601).

Con ellas los científicos pudieron hacer predicciones muy precisas del movimiento de los planetas, cambiando drásticamente el **modelo geocéntrico de Ptolomeo** (que afirmaba que la Tierra era el centro del Universo) y el **modelo heliocéntrico de Copérnico** (donde el Sol era el centro y las órbitas de los planetas eran perfectamente circulares).

Estas leyes también pueden explicar el movimiento de otros cuerpos del Sistema Solar, como lunas, cometas y asteroides.

Las leyes de Kepler pueden ser resumidas y probadas con el [simulador de las leyes de Kepler](#) de la siguiente manera:

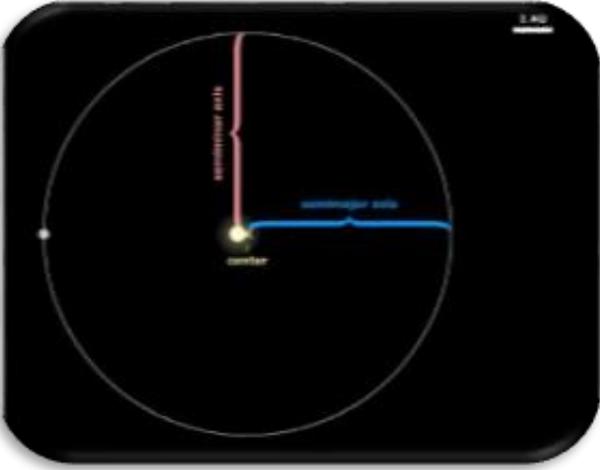
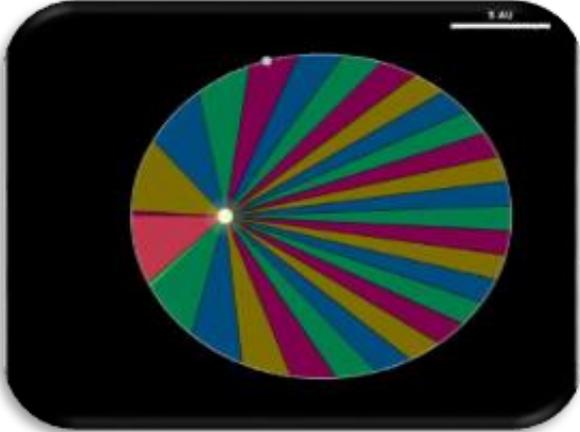
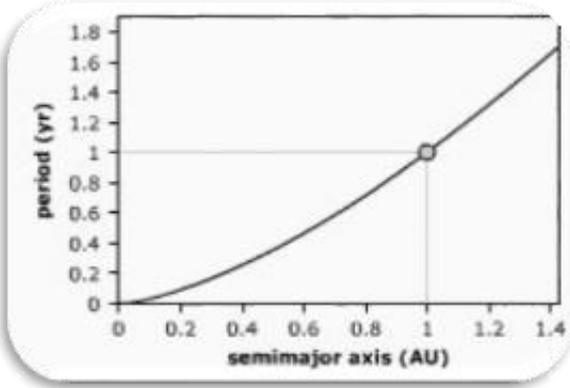
<i>Leyes de Kepler</i>	Simulador para probar la Ley de Kepler
<p><u>Primera Ley:</u> La órbita de cada planeta es una elipse, con el Sol en uno de los dos focos.</p>	
<p><u>Segunda Ley:</u> La línea que une un planeta y el Sol barre áreas iguales en intervalos de tiempo iguales</p>	
<p><u>Tercera Ley:</u> El cuadrado del período orbital de un planeta, T, es directamente proporcional al cubo del semieje mayor de su órbita, R:</p> $T^2 \propto R^3$	

Tabla 2: Introducción a las Leyes de Kepler y el simulador donde comprenderlas.

¿Cómo se calcula la masa de Júpiter?

A continuación vamos a explicar la ecuación que aplicamos para calcular la masa del planeta Júpiter a partir del movimiento de una de sus lunas, girando en torno a él.

Recordamos **la Ley de la Gravitación Universal**, postulada por Isaac Newton en 1687, que dice:

“ la fuerza ejercida entre dos cuerpos de masas (m) y (M), separados una distancia (r) es igual al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, es decir:

$$F_g = \frac{GMm}{r^2}$$

Donde G es la constante de Gravitación Universal, con un valor de $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

Vamos a fijarnos en la Figura 4, en la que un cuerpo como la Tierra de masa (m), gira entorno a otro cuerpo de mayor masa (M), como es el Sol, a una distancia (r).

Por simplificación, asumimos que este **movimiento es circular y sin rozamiento**, moviéndose a una velocidad de giro constante. La Tierra se encontraría por tanto **en un equilibrio de fuerzas** entre la fuerza gravitacional (F_g), generada por el Sol, y la fuerza centrífuga (F_c), causada por estar rotando entorno al Sol (o centrípeta).

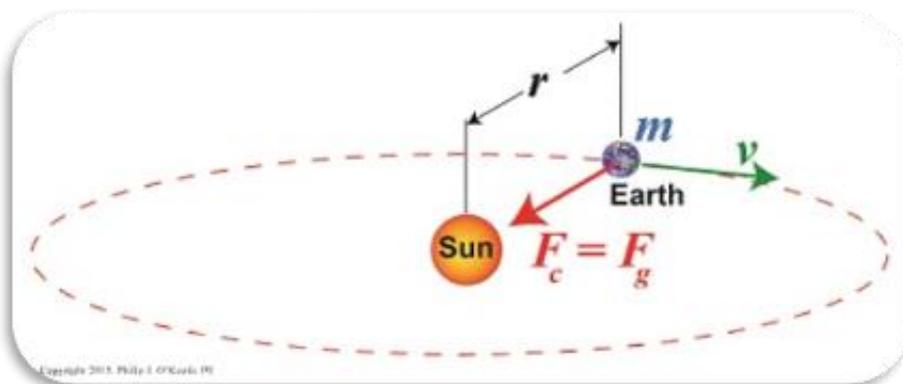


Figura 4: Segunda Ley de Newton (Créditos: <https://www.toppr.com>)

$$F_g = F_c$$



$$F_g = \frac{GMm}{r^2} \quad y \quad F_c = m a_c$$

$$\text{como } F_g = F_c \quad \rightarrow \quad \frac{GMm}{r^2} = m a_c$$

$$\text{como } a_c = \frac{v^2}{r} \quad \rightarrow \quad \frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{y como } v = \omega \cdot r = \frac{2\pi}{T} r \quad \rightarrow \quad \frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r \quad \rightarrow \quad \frac{GM}{4\pi^2} = \frac{r^3}{T^2}$$

En la ecuación de movimiento de la luna, v , es la velocidad lineal (en metros por segundo), r , es el radio de su órbita (en metros), ω , es la velocidad angular (expresada en radianes por segundo), T , es el período orbital (en segundos) y, G , es la constante de Gravitación Universal, con un valor de $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

El mismo caso puede aplicarse si el objeto masivo (M), es Júpiter (u otro planeta) y el menos masivo (m), girando a su alrededor, una de sus lunas.

Podemos deducir la Tercera Ley de Kepler, para una masa constante, M , (o M_J , en el caso de la masa de Júpiter en nuestro sistema Júpiter-luna) y decir que **“el cuadrado del período orbital de un planeta, T^2 , es directamente proporcional al cubo del semieje mayor de su órbita, r^3 ”**:

$$\text{cte} = \frac{GM}{4\pi^2} = \frac{r^3}{T^2} \quad \rightarrow \quad \boxed{T^2 \propto r^3}$$

A partir de la misma ecuación, podemos derivar M , o M_J , la masa de Júpiter como:

$$\frac{GM}{4\pi^2} = \frac{r^3}{T^2} \quad \rightarrow \quad (\text{Ec. 1}) \quad \boxed{M_J = \frac{4\pi^2 r^3}{G T^2}}$$

La Ecuación 1 será la empleada en este Reto Científico para calcular la masa de Júpiter. Vamos a calcular el período (T) y el radio orbital de una luna (r) e introduciremos estos valores en dicha Ecuación 1.

Estas mediciones las realizareis en este Reto Científico con la ayuda del software astronómico *Stellarium* (<http://stellarium.pdf>)



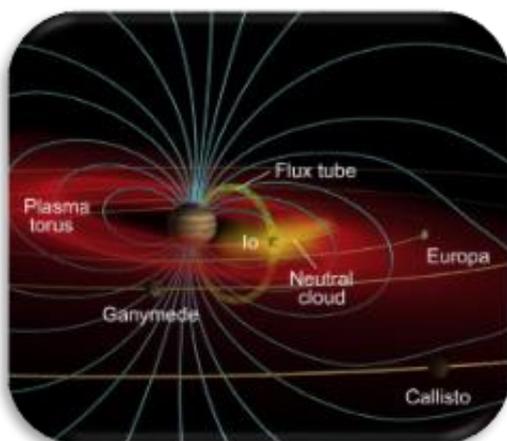
Figura 5: logo de Stellarium. (Créditos: Stellarium)

Actividad 2: Compara Júpiter y la Tierra

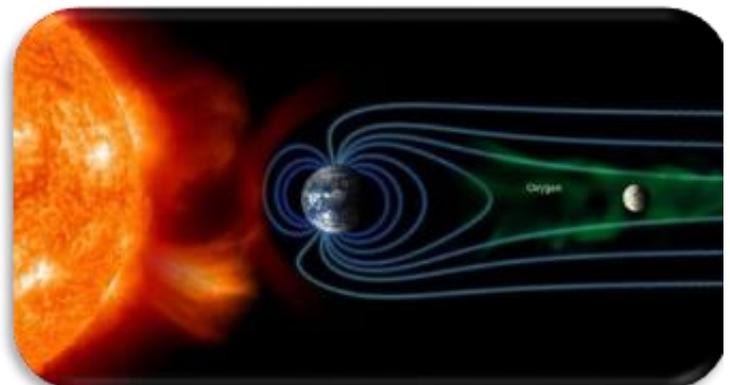
Rellenad la Tabla 3 comparando algunas propiedades de Júpiter y la Tierra.

	Tierra	Júpiter (11 veces el radio de la Tierra)
Radio		
Densidad	5.5 g/cm ³	
Temperatura Media	20° C	
Distancia al sol	1 AU	
Lunas		79
Tipo de planeta		
Composición	<ul style="list-style-type: none"> Manto de silicatos, núcleo y corteza metálica Atmósfera: nitrógeno, oxígeno, argón 	
Campos magnéticos	si	

Tabla 3: Compara Júpiter y la Tierra



El Sistema joviano



Sistema Sol-Tierra-Luna

Figura 6: Los campos magnéticos de Júpiter (Créditos: http://www.esa.int/Observing_Jupiter)

Actividad 3: El Sistema Joviano

El gigante gaseoso Júpiter es el planeta más grande de nuestro Sistema Solar. No tiene una superficie adecuada y está compuesto por nubes arremolinadas de gas y líquidos que son principalmente hidrógeno y helio. Júpiter es tan grande que unas 1321 Tierras podrían caber en él. Su masa es más del doble de la masa de todos los demás planetas del Sistema Solar combinados.

Júpiter tiene [79 lunas](#) (detectadas a fecha del 2021) – el cuerpo con mayor número de lunas en el Sistema Solar. Este número incluye las **cuatro lunas Galileanas: Ío, Europa, Ganímedes y Calisto**, que son las lunas más grandes de Júpiter y las primeras en ser descubiertas más allá de la Tierra, por el astrónomo Galileo Galilei, en 1610. Las lunas galileanas son mundos distintivos propios y de gran interés científico. En la Tabla 4 se presenta una visión general de su apariencia y características más relevantes.

<p>El objeto más activo volcánicamente en todo el Sistema Solar debido a la atracción gravitatoria hacia adentro de Júpiter y hacia afuera de otras lunas galileanas.</p>	<p>Un mundo frío que podría tener un océano de agua líquida bajo una gruesa capa de hielo superficial. Los científicos creen que es la más probable que sea habitable.</p>	<p>La mayor luna conocida del Sistema Solar. Hay pruebas de que oculta un océano de agua líquida bajo su cáscara helada; potencialmente un entorno adecuado para la vida.</p>	<p>Tiene una superficie antigua con muchos cráteres, por lo que nos permite explorar la formación temprana de las lunas. Se piensa que tiene un océano bajo la superficie.</p>

Tabla 4: Imágenes de las lunas galileanas tomadas por la misión Galileo. (Créditos: NASA/JPL/DLR)

En ocasiones podemos ver el tránsito¹ de las lunas frente a Júpiter, como muestra la Figura 7.

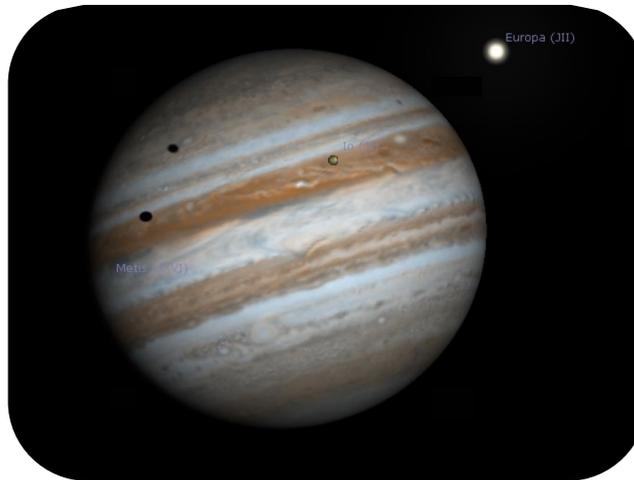


Figura 7: Imagen de Ío y Europa transitando Júpiter (Créditos: Stellarium & CESAR)

Por completitud, recomendamos algún otro de los contenidos previstos para esta actividad en el cuadro "[Resumen de actividades](#)", como por ejemplo: [El cuadernillo CESAR sobre el Sistema Solar](#).

Actividad 4: La exploración espacial de Júpiter por la Agencia Espacial Europea

Júpiter siempre ha sido un objeto astronómico muy interesante para estudiar. Desde las primeras observaciones hechas por Galileo Galieli, usando una versión temprana del telescopio, se han logrado grandes avances en su exploración gracias a la nueva tecnología.

Varias misiones espaciales NASA, como **Pioneer 10**, **Pioneer 11**, **Voyager 1**, **Voyager 2** y **Cassini-Huygens** han volado cerca de Júpiter. Sin embargo no fue hasta 1995, con la misión **Galileo**, y posteriormente en el 2016, con la misión **JUNO**, cuando NASA exploró en detalle el sistema joviano.

¹ **Un tránsito** se dice de un cuerpo celeste que se mueve a través de la cara de uno más grande

La Agencia Espacial Europea (ESA) está trabajando actualmente en la misión **JUICE**, cuyo lanzamiento está programado para el 2022 con llegada al sistema joviano en el 2029.

Sus **targets de observación** son Júpiter y las lunas que pueden albergar agua (¿y tal vez con ello vida?), Ganimedes, Calisto y Europa. Los [objetivos científicos de JUICE](#) consisten en caracterizar las condiciones que pueden haber llevado al surgimiento de ambientes habitables entre los satélites helados jovianos.

Os recomendamos, que si disponéis del tiempo, veáis estos videos sobre las lunas del sistema solar y la increíble misión JUICE: [El sistema solar, Mundos diversos: La Luna y Titán](#)

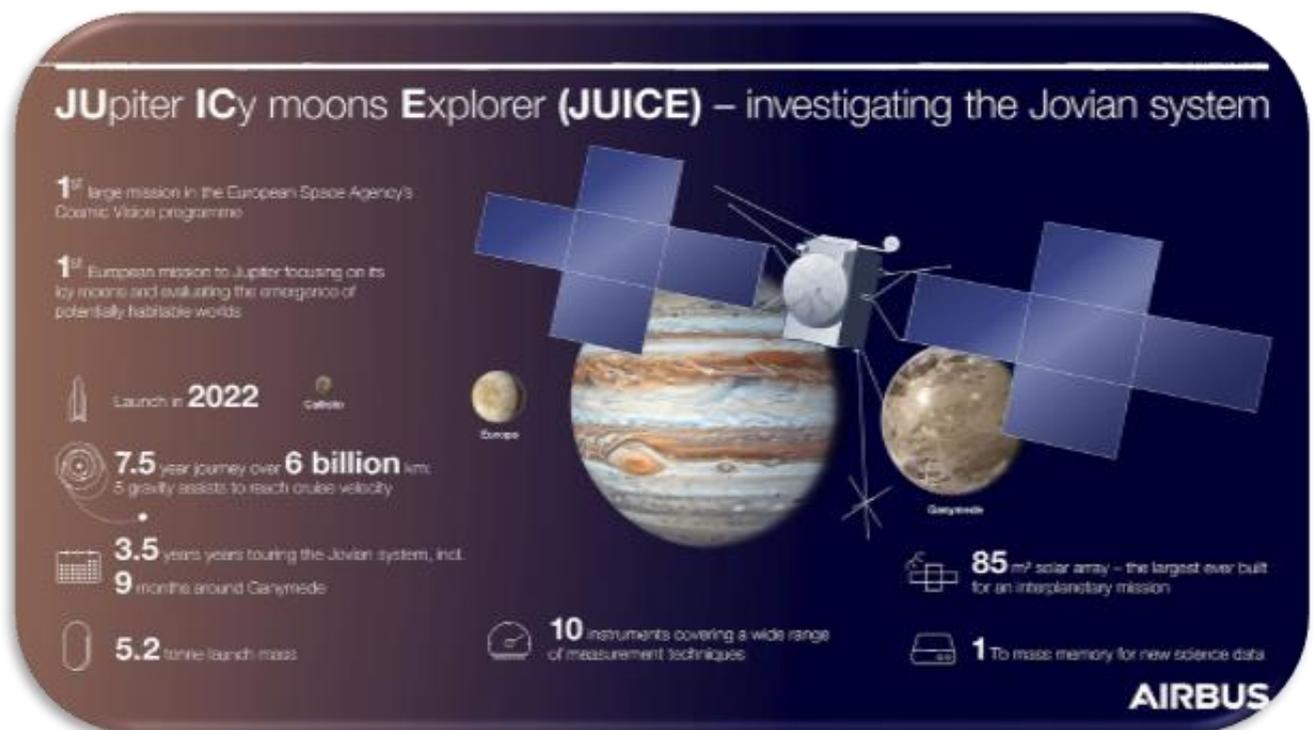


Figura 8: Infografía sobre la misión JUICE (Créditos: AIRBUS)



Enlaces



Fase 0

- <https://www.youtube.com/watch?v=9wdbNU7Pu8U&feature=youtu.be>
- http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2015/01/ESAC_ESA_s_Window_on_the_Universe
- <http://cesar.esa.int/index.php?Section=Multimedia&Id=63>
- <https://ingemecanica.com/tutoriales/unidadesdemedida.html>.

Fase 1

- <https://www.youtube.com/watch?v=Y8-T8RouhPA>
- Gravedad (ESAKids, <https://spaceplace.nasa.gov/what-is-gravity/en/>)
- <https://www.youtube.com/watch?v=lln0C2--xHk>
- <https://www.pinterest.es/pin/293226625732878538/>
- https://javalab.org/en/keplers_law_en/
- http://cesar.esa.int/upload/201905/jupiter_moons_booklet_pdf.pdf (Jupiter)
- http://cesar.esa.int/upload/201905/jupiter_moons_booklet_pdf.pdf
- <http://astro.unl.edu/classaction/animations/renaissance/kepler.html>
- <http://stellarium.pdf>
- [http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/07/Science_ESA_Episode_7_Exploring_our_backyard_the_Solar_System/\(lang\)/es](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/07/Science_ESA_Episode_7_Exploring_our_backyard_the_Solar_System/(lang)/es)
- [https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/07/Science_ESA_Episode_10_Diverse_worlds_The_Moon_and_Titan/\(lang\)/es](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/07/Science_ESA_Episode_10_Diverse_worlds_The_Moon_and_Titan/(lang)/es)
- [https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/07/Science_ESA_Episode_10_Diverse_worlds_The_Moon_and_Titan/\(lang\)/es](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/07/Science_ESA_Episode_10_Diverse_worlds_The_Moon_and_Titan/(lang)/es)
- <https://www.youtube.com/watch?v=gDWftjNUKqk>
- https://youtu.be/tjOn-N_cu0
- <https://sci.esa.int/web/juice/-/50068-science-objectives>
- <https://sci.esa.int/web/juice/-/59908-juice-s-secondary-target-the-jupiter-system> (JUICE)
- [https://sci.esa.int/web/juice/-/59334-exploring-jupiter\(en inglés\)](https://sci.esa.int/web/juice/-/59334-exploring-jupiter(en%20ingl%C3%A9s))
- <http://scifleet.esa.int/#/>
- <http://cesar.esa.int/form.php?Id=4&k=&ChangeLang=es>

Fase 2

Fase 3

- <https://drive.google.com/file/d/17yJ25ne0kONn4tje12o3OT-sz3iP7dAa/view?usp=sharing>
- [ESASky](#)
- [SalsaJ installed](#)
- [SalsaJ tutorial](#)
- [SAODS9 installed](#)

Fase 4

- <http://cesar.esa.int/form.php?Id=4&k=&ChangeLang=es>



Créditos:

Material basado en el elaborado por [Asociación Planeta Ciencias](#) bajo la iniciativa y coordinación de la [Agencia Espacial Europea](#) y el programa [CESAR](#)

Versión inicial de Planeta Ciencias:
http://cesar.esa.int/index.php?Section=SSE_The_Mass_of_Jupiter

El equipo del CESAR ha contado para el desarrollo de este Reto con el apoyo del Programa [Young Graduate Trainee \(YGT\) Programme](#).