

Spain



INVESTIGACIÓN PLANETARIA
Escondidos en la luz

IP-SB-05

Cocina un cometa

¿Los ingredientes para la vida?



SUMARIO

3	Datos básicos
4	Introducción
5	Resumen de las actividades
10	Actividad 1. Cocina un cometa
18	Fichas de trabajo para el alumnado
20	Anexo
28	Glosario
30	Enlaces de interés

IP-SB-05

Cocina un cometa

¿Los ingredientes para la vida?

1ª Edición. Noviembre 2025

Guía para el profesorado

Ciclo
Secundaria y Bachillerato

Edita
ESERO Spain, 2025 ©
Parque de las Ciencias. Granada

Traducción
Dulcinea Otero Piñeiro

Dirección
Parque de las Ciencias, Granada.

Créditos de la imagen de portada:
Ela Sen

Créditos de la imagen de la colección:
ESA/ NASA/ UCL (G. Tinetti)

Basado en la idea original:
CLOUD CHAMBER
Radioactivity in a cosmic setting
Colección «Teach with space».
Una producción de ESA Education.

Objetivos didácticos



- Entender las diferencias esenciales entre los cometas y los asteroides.
- Familiarizarse con los parámetros básicos de la composición de los cometas.
- Realizar cálculos sencillos sobre la conversión energética que se produce cuando un cometa o asteroide choca contra un planeta.



1 h. y 20 min.

Materia

Física: energía cinética, conservación de la energía, fenómenos de impacto y órbitas (en el Sistema Solar) • **Astronomía:** localización y naturaleza de asteroides y cometas, partes de un cometa (núcleo, cabellera, cola de polvo y cola de plasma —ionizada—), consecuencias de las colisiones en el Sistema Solar, asociación del Cinturón de Kuiper y la Nube de Oort con los cometas, sondas espaciales para estudiar los objetos del Sistema Solar • **Química:** Cambios de fase.

Intervalo de edades

De 14 a 18 años

Tipo de actividad

Demostración docente y actividad

Dificultad

Fácil

Coste

Medio (entre 5 y 25 euros)

Lugar para realizar la actividad

Interiores
(un aula amplia y bien ventilada)

Incluye el empleo de

Hielo seco (dióxido de carbono sólido a una temperatura inferior a -78 °C)

El alumnado debería conocer

La ecuación de la energía cinética.
Los conceptos de espectroscopia y radiación infrarroja.

Los cometas se consideran cápsulas del tiempo que contienen información sobre las condiciones que existieron en el Sistema Solar primigenio. Para entender qué son los cometas, de dónde vienen y su influencia en la evolución de la Tierra hay que averiguar qué materiales contienen. Esta guía propone una demostración por parte del docente, una actividad práctica para el alumnado y una puesta en común final que ofrecerán una idea sobre la composición química de los cometas. También se plantean un debate y una actividad adicionales para analizar los fenómenos de impacto que se dan en el planeta Tierra y cómo se calcula la energía cinética implicada en ellos.

En esta actividad, docentes y alumnado reproducirán el núcleo de un cometa en el aula. Los ingredientes empleados serán una reproducción adecuada del material que contiene el núcleo de un cometa real, tal como se desveló a partir de estudios espectroscópicos y de los resultados obtenidos por las sondas enviadas para sobrevolar diversos cometas.

Cocina un cometa

Introducción

¿QUÉ SON LOS COMETAS?

Los cometas son pequeños mundos helados que proceden sobre todo en dos regiones del Sistema Solar (figura 1). Los cometas de periodo corto (los que tienen un **periodo orbital*** inferior a 200 años) proceden del Cinturón de Kuiper, un conjunto de restos helados que quedaron tras la formación del Sistema Solar y que se encuentra justo después de la órbita de Neptuno. Los cometas de periodo largo (los que tienen periodos orbitales de hasta decenas de miles de años) se creen procedentes de un halo esférico de material helado situado en los confines del Sistema Solar y que se conoce como la Nube de Oort. La Nube de Oort, que dista muchos miles de **unidades astronómicas (au)*** del Sol, se encuentra demasiado lejos para poder fotografíarla de manera directa, lo que obliga a rastrear en el tiempo la órbita de los co-



El cometa Hale-Bopp fotografiado desde Croacia (Philipp Salzgeber).

metas de periodo largo para determinar su origen (figura 3).

La mayoría de los cometas gira alrededor del Sol siguiendo órbitas estables. Sin embargo, los objetos del Cinturón de Kuiper pueden verse afectados por el campo gravitatorio de los planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), y los objetos de la Nube de Oort, por las **perturbaciones gravitatorias*** causadas por el movimiento de otras estrellas. En ocasiones, estas perturbaciones alteran las órbitas de estos pequeños mundos helados y los precipitan hacia el interior del Sistema Solar.

Cuando estos objetos se acercan al Sol, empiezan a calentarse y el hielo que contienen se **sublima***. La estructura original pasa ahora a llamarse núcleo. A medida que el núcleo se calienta, despidе gas y polvo y forma una «atmósfera» tenue pero extensa denominada cabellera (figura 2).

A medida que el cometa se acerca más al Sol, la interacción de la cabellera con el aumento de la **radiación solar y el viento solar*** produce las espectaculares colas que suelen asociarse con los cometas. En ocasiones muy especiales, las colas son lo bastante brillantes como para verse desde la Tierra a plena luz del día.

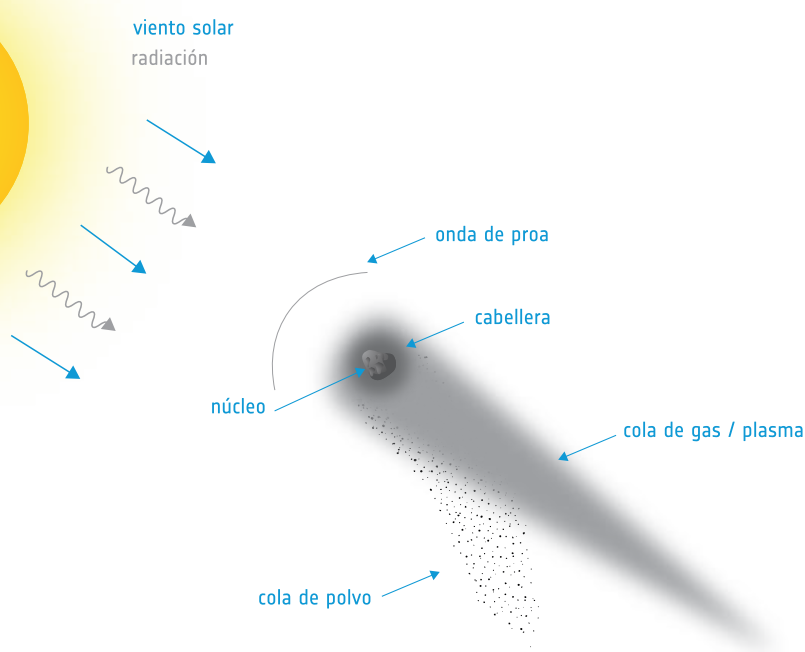
No todas las colas cometarias son tan espectaculares como la que se muestra en la figura 1, ni tan siquiera llegan a verse todas desde la Tierra. El tamaño del núcleo, su composición, la proximidad al Sol y la cantidad de veces que el cometa se ha acercado al Sol condicionan la espectacularidad de la cola. En cuanto el cometa rebasa el punto de su órbita más próximo al Sol (el **perihelio***), el objeto volverá a alejarse para sumirse en las regiones más frías del Sistema Solar habiendo perdido para siempre una parte de su masa.

Los cometas siguen órbitas elípticas en uno de cuyos focos se encuentra el Sol (figura 3), por lo que solo se ven durante un breve periodo de tiempo: cuando se acercan al perihelio. En el caso de los cometas con órbitas muy elípticas, este intervalo temporal constituye una fracción mínima del tiempo que tardan en completar una órbita alrededor del Sol. Pasan la mayor parte de su existencia desacelerando despacio mientras se alejan del



Sol hasta alcanzar el afelio* y acelerando hacia él hasta llegar al perihelio, debido a los efectos de la gravedad de nuestra estrella.

Para más información sobre órbitas elípticas y órbitas cometarias, consúltese la guía didáctica «Elipses fabulosas».



Anatomía de un cometa.

* **Afelio:** Punto de una órbita más alejado del Sol.

Onda de proa (de un cometa): Superficie de interacción entre los iones de la cabellera de un cometa y el viento solar. La onda de proa se forma porque la velocidad orbital relativa del cometa y el viento solar es supersónica. La onda de proa se forma en la parte frontal del cometa en la dirección de la que procede** el viento solar. En la onda de proa se acumulan grandes concentraciones de iones cometarios que cargan de plasma el campo magnético solar. El resultado es que las líneas de campo se curvan en torno al cometa, con lo que atrapan los iones cometarios y forman la cola de gas, también llamada de plasma o cola ionizada.

Perihelio: Punto de una órbita más cercano al Sol.

Periodo orbital: Tiempo que se tarda en dar una vuelta completa a una órbita.

Perturbaciones gravitatorias: Cambios en la órbita de un objeto celeste (como un planeta o cometa) debido a interacciones con el campo gravitatorio de otros cuerpos celestes (como planetas gigantes u otras estrellas).

Sublimar (sublimación): paso directo de una sustancia desde el estado sólido al estado gaseoso, sin pasar por la fase líquida, por efecto del calor. Cuando el gas vuelve a enfriarse suele formar un depósito sólido.

Unidad astronómica (au): 1 au se corresponde con el promedio de la distancia que separa la Tierra del Sol o con el radio orbital de la Tierra, que asciende a unos 150 millones de km.

Viento solar: Corriente de partículas de alta energía (plasma) que despiende en todas direcciones la alta atmósfera del Sol. Se compone sobre todo de electrones y protones.



ACTIVIDADES

01

COCINA UN COMETA

Descripción

En esta demostración el docente reproducirá el núcleo de un cometa en el aula. Los ingredientes empleados serán una reproducción adecuada del material que contiene el núcleo de un cometa real.

Resultado

Realizar una demostración por parte del docente, una actividad práctica para el alumnado y una puesta en común final que ofrecerán una idea sobre la composición química de los cometas. También se plantean un debate y una actividad adicionales para analizar los fenómenos de impacto que se dan en el planeta Tierra y cómo se calcula la energía cinética implicada en ellos.

Requisitos

Conocer:

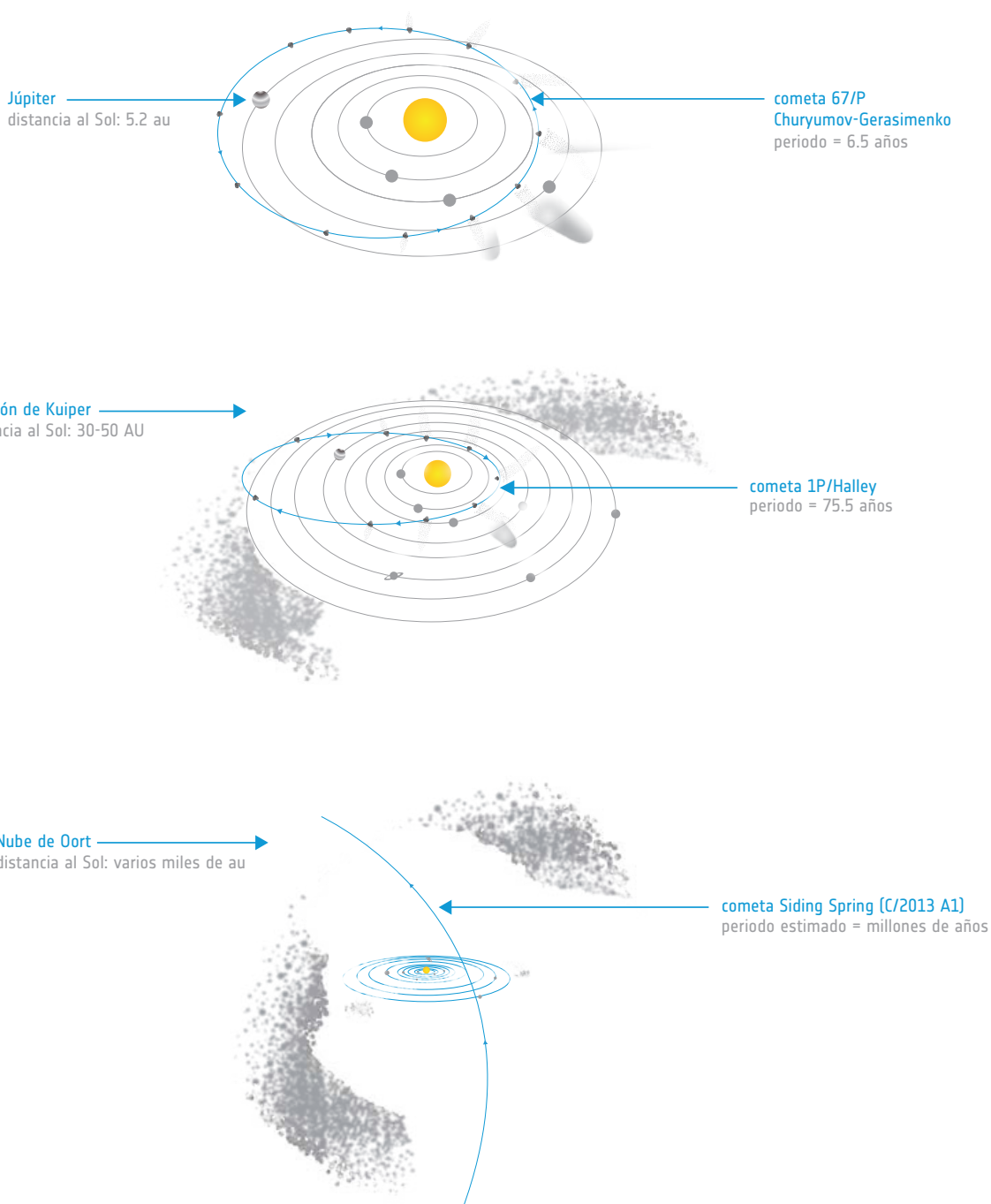
- La ecuación de la energía cinética.
- Los conceptos de espectroscopia y radiación infrarroja.

Tiempo

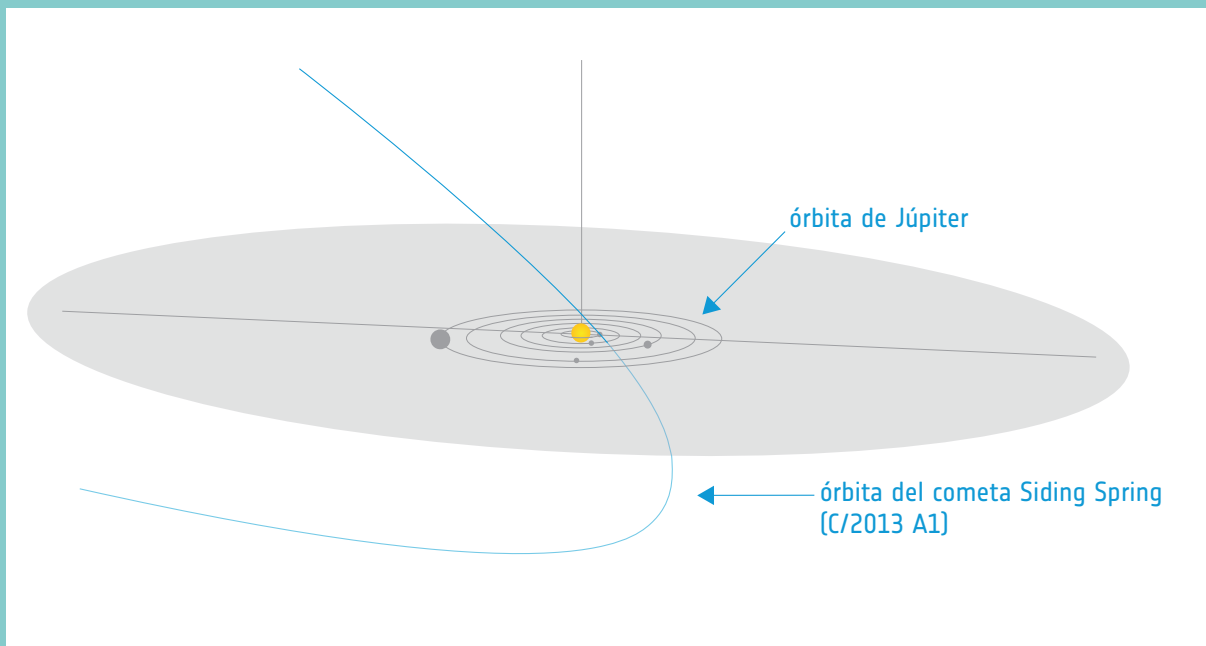
1 hora y 20 minutos.

Cocina un cometa

Introducción



Órbitas cometarias en el Sistema Solar.



Trayectoria del cometa Siding Spring (C/2013 A1) por el Sistema Solar.

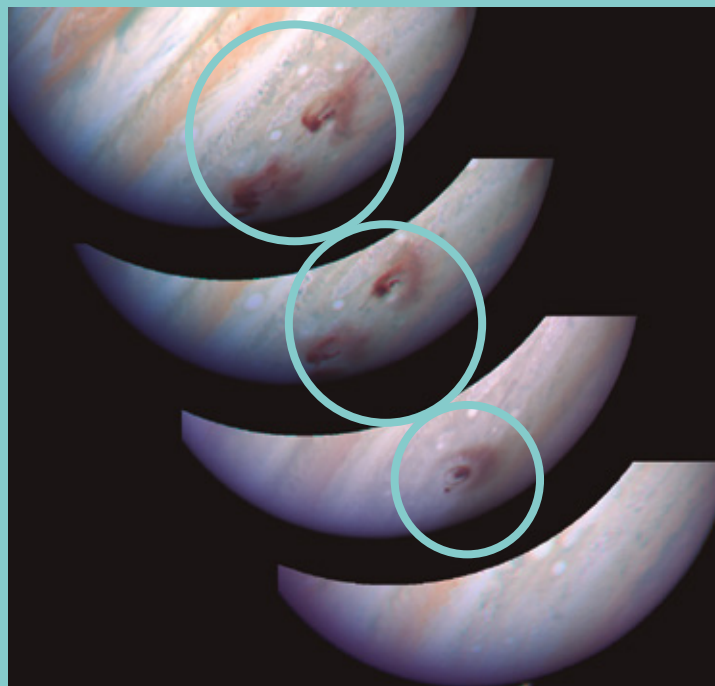
COLISIONES EN EL SISTEMA SOLAR

La figura ilustra la trayectoria orbital de 3 cometas diferentes que parecen atravesar las órbitas de los planetas, lo que induce a pensar que las colisiones entre cometas o asteroides y planetas son inevitables. Sin embargo, las órbitas de los cometas procedentes de la Nube de Oort pueden estar muy inclinadas con respecto al plano del Sistema Solar (la eclíptica). Por tanto, muchas de las trayectorias que parecen intersectar las órbitas planetarias resultan engañosas debido a la perspectiva. Así, por ejemplo, la trayectoria del cometa Siding Spring (C/2013 A1) durante su acercamiento al perihelio en 2014 mantiene una inclinación elevada en relación con el plano orbital de la Tierra (figura 4).

Sin embargo, hay signos abrumadores de que los planetas chocan habitualmente (a una escala temporal geológica) contra cometas y asteroides. Estos impactos formaron la mayoría de los cráteres observados en las superficies de los satélites y planetas de todo el Sistema Solar. Las colisiones ocurrían con más frecuencia al principio de la historia de nuestro sistema planetario (el periodo de bombardeo intenso tardío), pero en la actualidad siguen produciéndose.

En 1994, numerosos fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9 (D/1993 F2) chocaron contra Júpiter. La mayor cicatriz de impacto observada tuvo miles de kilómetros de diámetro. La causó el fragmento G del cometa, que solo medía unos pocos kilómetros de diámetro. Los efectos de este impacto en la atmósfera de Júpiter pueden verse en la figura 5, un mosaico de imágenes tomadas por el telescopio espacial Hubble.

... hay signos abrumadores de que los planetas chocan habitualmente (a una escala temporal geológica) contra cometas y asteroides



Este mosaico de imágenes muestra la evolución del punto de impacto del fragmento G contra Júpiter (R. Evans, J. Trauger, H. Hammel and the HST Comet Science Team and NASA/ESA).

Cocina un cometa

Introducción

• ASTEROIDES

Los cometas no son los únicos objetos que chocan contra la Tierra y otros cuerpos del Sistema Solar. Los asteroides, procedentes sobre todo del cinturón de asteroides situado entre Marte y Júpiter (figura 6), son objetos grandes rocosos o metálicos. En general, los asteroides se formaron mucho más cerca del Sol y, por tanto, contienen menos elementos ligeros que los cometas. Los metales, los óxidos metálicos, los minerales y los silicatos son los componentes principales de los asteroides. Como los cometas contienen más cantidad de elementos ligeros, como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, permiten la formación de ciertos compuestos como el agua, el metano y el dióxido de carbono.

Los asteroides más grandes conocidos son Vesta y Palas, con más de 500 km de diámetro. La figura 7 compara los tamaños de algunos asteroides y cometas. Los asteroides irregulares que se muestran en la figura 7 son mucho más pequeños que Vesta y Palas, pero muchos son bastante más grandes que los núcleos de los cometas de los que se han obtenido imágenes.

IMPACTOS CONTRA LA TIERRA

La actividad tectónica y los procesos meteorológicos que tienen lugar en la superficie de la Tierra limitan la duración de cráteres a unos pocos millones de años antes de desaparecer de la vista. Sin embargo, el análisis geológico de las rocas del subsuelo y de otras características permiten deducir cómo se formó un cráter antiguo. A principios de la década de 1990 se confirmó que, hace unos 65 millones de años, un cometa o asteroide de unos 10 km de diámetro chocó contra la Tierra en la región de Yucatán (México). Este impacto formó un cráter de más de 150 km de diámetro. El cambio climático global que ocurrió a continuación contribuyó en gran medida a una de las mayores extinciones masivas acaecidas en la historia de la Tierra: la extinción del

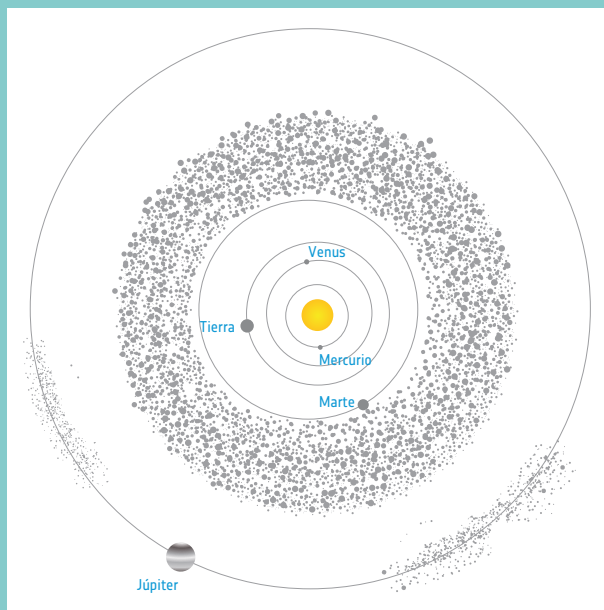


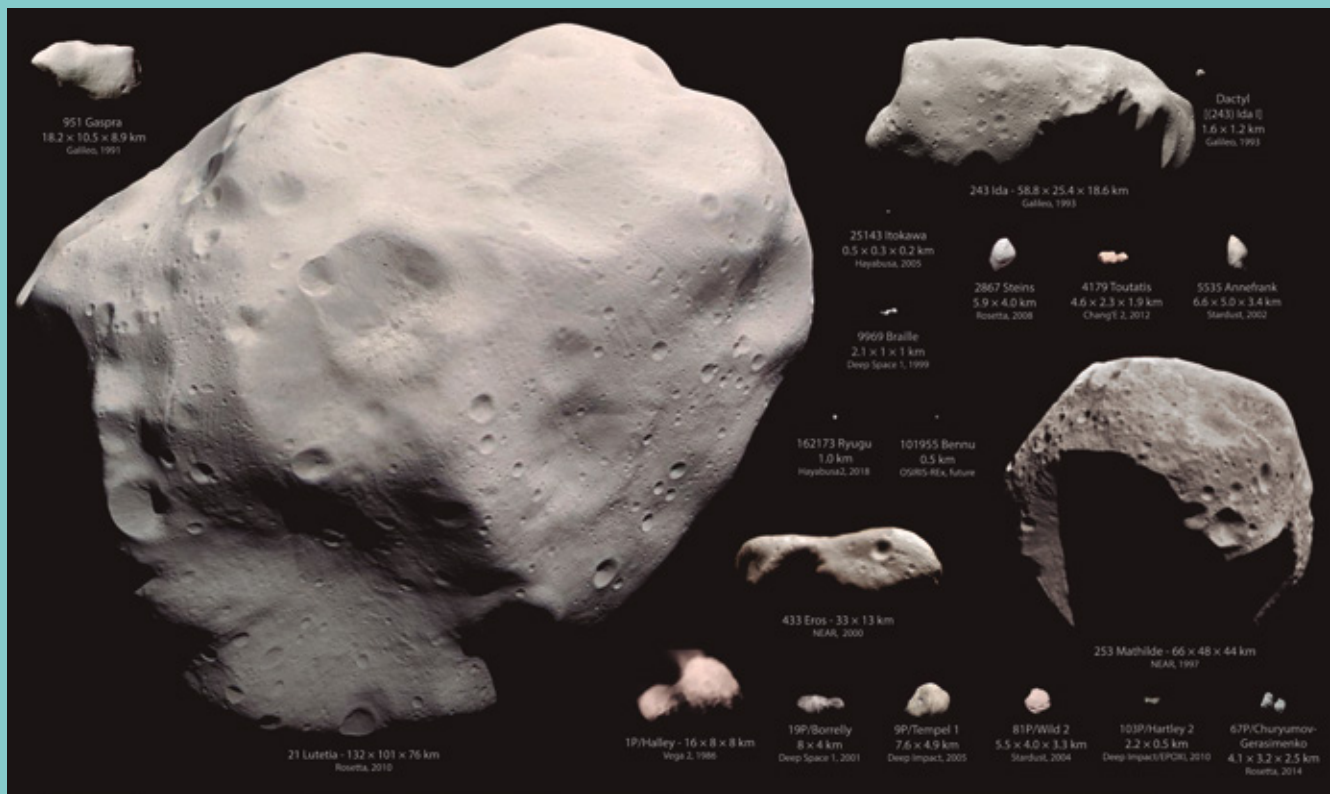
Diagrama con la distribución de los asteroides en el Sistema Solar. La mayoría de los asteroides reside en el cinturón principal situado entre las órbitas de Marte y Júpiter. Otro gran grupo de asteroides es el de los troyanos jovianos, situados en los **puntos lagrangianos*** estables, L4 y L5, de la órbita de Júpiter.

Cretácico-Paleoceno, que con el tiempo provocó la desaparición de los dinosaurios.

En tiempos mucho más recientes se formaron cráteres más pequeños que aún son visibles, como el cráter Meteor (también conocido como cráter Barringer) de Arizona, Estados Unidos, que se reproduce en la Figura 8.

El cráter Meteor se formó hace unos 50 000 años por la caída de un asteroide de níquel-hierro sobre las llanuras de Arizona, Estados Unidos. Este impacto formó un cráter de casi 200 m de profundidad y 1.5 km de diámetro. Los fragmentos del objeto que impactante están dispersos por el paisaje circundante.

En 1908, un asteroide o cometa, que se cree que tenía más de 50 m de diámetro, explotó a una altura de entre 5 y 10 km sobre una zona boscosa



Comparación de tamaños entre asteroides y cometas; se indican sus nombres oficiales en la Unión Astronómica Internacional (Composición de Emily Lakdawalla). Ida, Dactyl, Braille, Annefrank, Gaspra, Borrelly: NASA / JPL / Ted Stryk. Steins: ESA / OSIRIS team. Eros: NASA / JHUAPL. Itokawa: ISAS / JAXA / Emily Lakdawalla. Mathilde: NASA / JHUAPL / Ted Stryk. Lutetia: ESA / OSIRIS team / Emily Lakdawalla. Halley: Russian Academy of Sciences / Ted Stryk. Tempel 1: NASA / JPL / MD. Wild 2: NASA / JPL.

Este impacto formó un cráter de casi 200 m de profundidad y 1.5 km de diámetro. Los fragmentos del objeto que impactante están dispersos por el paisaje circundante



Izquierda: Cráter Meteor, en Arizona, EE UU.

Derecha: El cráter Meteor fotografiado desde la Estación Espacial Internacional.

remota cercana al río Tunguska, en lo que hoy es Krasnoyarsk (Rusia). Aunque se cree que el asteroide o cometa no llegó a chocar contra la superficie terrestre, la intensidad de la explosión tumbó los árboles de un área de bosque de más de 2000 km² (figura 9).

- * **Puntos lagrangianos:** dentro de cualquier configuración orbital siempre hay cinco puntos en los que un objeto afectado únicamente por la gravedad puede orbitar de manera estable. Para más información véase el video VP04 de la guía didáctica ESA sobre pozos gravitatorios (consúltese el apartado de enlaces útiles).



Árboles caídos tras el fenómeno de Tunguska.

ACTIVIDAD 1

Cocina un cometa



80 min.

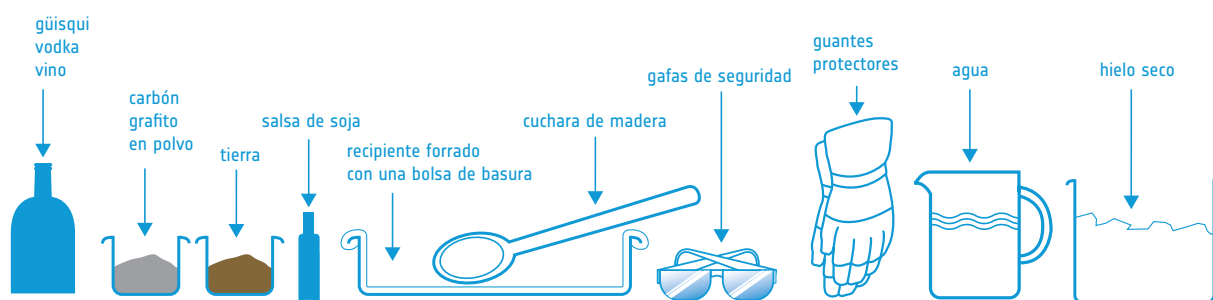
Ejercicio

1

En esta demostración el docente reproducirá el núcleo de un cometa en el aula. Los ingredientes empleados serán una reproducción adecuada del material que contiene el núcleo de un cometa real. Una versión para el alumnado de esta actividad consistiría en utilizar cantidades más pequeñas en vasos de plástico. Es importante que el alumnado reciba instrucciones claras sobre los riesgos que entraña la manipulación del material y que siga las indicaciones de seguridad y prevención que se dan aquí. Las instrucciones para el alumnado se dan en la ficha de trabajo que figura después de la actividad.

MATERIAL NECESARIO

- Hielo seco (unos 0.75 litros en trozos lo más pequeños posible)
- Agua (unos 0.75 litros)
- Bolsas de basura grandes
- 10 cucharadas soperas de tierra (la tierra no debe ser grumosa, sino de una consistencia regular)
- 1 cucharada de carbón o grafito en polvo
- 2 o 3 cucharadas de güisqui, vodka o vino tinto (componente de metanol/etanol)
- Unas gotas de salsa de soja (componente orgánico)
- Recipientes graduados para medir
- Unas gotas de producto de limpieza (componente de amoníaco)
- Recipiente grande de plástico
- Cubo para desechos
- Cuchara de madera
- Pantalla facial de seguridad transparente
- Recipiente de poliestireno para el hielo seco
- Guantes de protección térmica
- Gafas de seguridad para todos los participantes y quienes realicen la demostración
- Bata de laboratorio protectora para quien realice la demostración (opcional)



SEGURIDAD

- Usa siempre gafas y guantes protectores para manipular el hielo seco. No toques, pruebes ni tragues el hielo seco. El alumnado debe recibir instrucciones claras sobre los riesgos y la distancia a la que debe sentarse del lugar en el que se realice la demostración, ya que el cometa puede «chisporrotear».
- Al terminar, elimina los restos del cometa en el exterior, en un lugar bien ventilado inaccesible para el alumnado.
- Nunca guardes el hielo seco en un congelador doméstico.
- Realiza el experimento en un lugar bien ventilado.

INSTRUCCIONES

- 1 Forra uno de los recipientes con la bolsa de basura. Recomendamos colocar el recipiente dentro de una bolsa de basura y forrarlo a su vez con otra bolsa en su interior. Esto facilitará la eliminación posterior del cometa. Asegúrate de que la parte de la bolsa que queda en el interior del recipiente esté lisa.
- 2 Añade los siguientes ingredientes: agua, tierra, carbón en polvo, el vino o el alcohol, el producto de limpieza y la salsa de soja. Estos son algunos de los compuestos que conforman un cometa de verdad. Algún asistente a la demostración podría participar en ella añadiendo algunos de los ingredientes. Mezcla todo bien con la cuchara de madera.
- 3 Añade el hielo seco a la mezcla. Vuelve a mezclar con la cuchara de madera. Es útil que otra persona ayude inclinando el recipiente mientras se revuelve el contenido. A continuación, con los guantes puestos, moldea la mezcla durante unos 30 segundos hasta formar un solo bloque compacto. Si los ingredientes no ligan entre sí con facilidad, añade un poco más de agua. No hay que comprimir en exceso, porque el cometa podría romperse.
- 4 Una vez finalizada la demostración, coloca el cometa dentro del recipiente y retira con cuidado del interior del recipiente la bolsa de basura en la que se encuentra el cometa. Coloca la bolsa de basura dentro del cubo asegurándote de que sigue abierta para que los gases emitidos sigan saliendo. Desecha el núcleo cometario que acabas de fabricar en un lugar al exterior e inaccesible a otras personas. El hielo seco del núcleo debería sublimarse en 24 horas.

Recomendación: si el experimento se realiza por la mañana, el alumnado podrá volver por la tarde para ver cómo ha evolucionado el cometa.

¡Con la práctica se consiguen mejores cometas!

Para obtener los mejores resultados conviene practicar varias veces antes de realizar el experimento con el alumnado

VÍDEO COMPLEMENTARIO

COCINA UN COMETA

ESA Enseñar con el espacio | VC03: Vídeo del recurso titulado «Cocina un cometa»:

<https://www.esa.int/eseach?q=coocking+a+comet>

ANÁLISIS

¿Cuánto se asemejan los ingredientes utilizados al núcleo de un cometa real?**¿Qué implicaciones tienen estos compuestos para la vida en nuestro planeta?**

Las primeras observaciones espectroscópicas de los cometas se realizaron a finales del siglo XIX y principios del XX. La espectroscopia permitió empezar a descubrir la composición química de la cabellera cometaria. Durante estas primeras observaciones se identificaron el carbono diatómico, los iones de sodio y una serie de moléculas basadas en el carbono, el oxígeno y el nitrógeno.

En 1950, el astrónomo estadounidense Fred Whipple propuso un modelo nuevo para describir el núcleo de un cometa. El modelo de la «bola de nieve sucia» de Whipple sostenía que los cometas tienen un núcleo helado formado por restos de polvo, roca y sustancias volátiles en su mayoría congeladas, como agua, dióxido de carbono, metano y amoníaco. Las observaciones realizadas desde tierra y desde el espacio confirmaron más tarde el modelo de Whipple, aunque requirió algunos pequeños cambios porque las observaciones revelaron que los núcleos cometarios son más grandes y oscuros de lo esperado.

Un estudio reciente del cometa 103P/Hartley evidenció que el agua que contiene presenta la misma proporción isotópica de deuterio e hidrógeno (agua pesada) que los océanos de la Tierra. Fue un descubrimiento muy relevante. El agua es una molécula crucial para la vida que conocemos. Es un disolvente universal que permite la disolución de diversos componentes químicos en su interior. Los científicos creen que el agua es clave para el desarrollo de la vida. Las colisiones de cometas con nuestro planeta durante los primeros tiempos de su historia pudieron ser una fuente importante para aportar agua a la Tierra en sus orígenes.

El carbono que contienen los cometas es importante porque toda la vida que conocemos se basa en este elemento químico. Este ingrediente clave para la vida en la Tierra podría haber llegado con los impactos cometarios.

La salsa de soja representa los aminoácidos y precursores de aminoácidos presentes en los cometas. En 2004, la misión Stardust de la NASA tomó muestras de polvo de la cabellera del cometa 81P/Wild que se trajeron a la Tierra. El análisis de este material confirmó la presencia de glicina, el aminoácido más simple. Y este descubrimiento tuvo una trascendencia descomunal. Los aminoácidos son los componentes básicos de las proteínas y, como tales, son uno de los ingredientes principales de la vida misma. Encontrar estas moléculas biológicas (fórmula química $C_2H_5NO_2$) en un objeto celeste distinto del planeta Tierra abre la posibilidad de que algunos de los elementos necesarios para el desarrollo de la vida en nuestro planeta llegaran hasta aquí traídos por cometas que chocaron con él hace miles de millones de años.

Además del dióxido de carbono (hielo seco) utilizado en la demostración, en los cometas se han descubierto otros gases mediante espectroscopia. Entre ellos figuran (aunque no solo) los que se relacionan en la Tabla 1.

¿Qué es el hielo seco?

El hielo seco es dióxido de carbono - CO_2 - congelado, que en condiciones normales de temperatura y presión es un gas.

El proceso de sublimación del dióxido de carbono, durante el cual pasa directamente de sólido a gas, es el que forma la cabellera de los cometas. El proceso inverso se denomina desublimación o deposición. A la presión de una atmósfera, el dióxido de carbono pasa directamente de gas a sólido, con lo que se forma hielo seco, a $-78^\circ C$.

¿Qué son las nubes o vapores blancos que se ven durante la demostración?

Cuando el hielo seco utilizado en la demostración se calienta por encima de $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$, se sublima y da lugar a un gas frío. Esto enfría el vapor de agua que hay en el aire circundante, el cual se condensa y genera las nubes blancas observadas.

¿Qué causa la emisión explosiva de gases que se observa durante la demostración?

En esta actividad, cuando se recrea el núcleo cometario, hay dos factores que compiten entre sí. El agua líquida entra en contacto térmico con el hielo seco, que tiene una temperatura inferior a $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que el agua se congela y forma una «jaula de hielo» alrededor del hielo seco. Cuando el hielo seco entra en contacto térmico con un material que está por encima de los $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$, empieza a sublimarse. El paso del hielo seco de fase sólida a gaseosa implica una variación de volumen de más de 600 veces. Esto significa que las burbujas de hielo seco que se subliman de vez en cuando despiden gases de forma explosiva a través de la cubierta de hielo de agua que rodea al núcleo. Por este motivo, se recomienda encarecidamente usar bata de laboratorio protectora, así como guantes y gafas de seguridad.

¿Qué forma y qué tamaño tienen los núcleos cometarios?

El **sobrevuelo*** de cometas con diversas naves espaciales ha confirmado una variedad de formas y tamaños de los núcleos cometarios. Entre estas misiones se cuentan Giotto (ESA, cometa 1P/Halley y cometa 26P/Grigg-Skjellerup), Stardust (NASA, cometa 81/PWild y cometa 9P/Tempel), Deep Impact (NASA, cometa 9P/Tempel y cometa 103P/Hartley) y Rosetta (ESA, cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko).

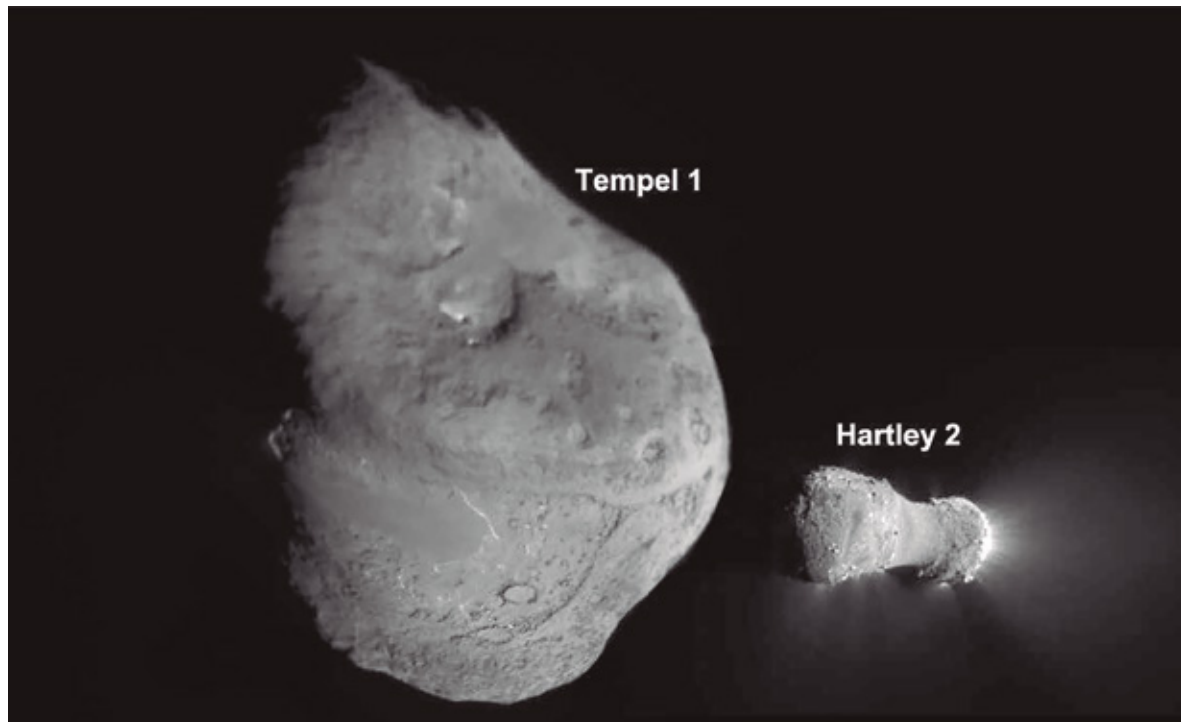
En la imagen a escala que se muestra en la Figura A2, el eje longitudinal del núcleo del cometa 103P/Hartley mide unos 2.2 km, mientras que el núcleo del cometa 9P/Tempel tiene unos 7.6 km en su lado más largo. Las mediciones preliminares realizadas por la misión Rosetta de la ESA al llegar al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko confirmaron que su lado más largo mide 4.1 km.

TABLA 1. Gases encontrados en el núcleo de los cometas

C_2H_4	Etileno
NH_3	Amoníaco
CH_4	Metano
C_2H_6	Etano
$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	Etilamina
O_2	Oxígeno
CH_3OH	Metanol
$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	Aminometanol
H_2O_2	Peróxido de hidrógeno
H_2	Hidrógeno
CH_3COOH	Ácido acético
CH_3NH_2	Metilamina
C_2H_2	Acetileno
HCN	Cianuro de hidrógeno

* **Sobrevuelo:** paso de una nave espacial cerca de un planeta u otro objeto celeste. Si la nave espacial aprovecha el campo gravitatorio del planeta u objeto para incrementar su velocidad y modificar su trayectoria, se denomina maniobra de asistencia gravitatoria.

La composición de imágenes de la figura 7 muestra varios núcleos de cometas comparados con imágenes de asteroides y algunos satélites del Sistema Solar tomadas tras diversos sobrevuelos de naves espaciales (hasta el año 2010). Los núcleos cometarios se muestran en la esquina inferior derecha de la Figura 7.



Comparación del tamaño de los núcleos de los cometas 9P/Tempel y 103P/Hartley (NASA/JPL-Caltech/UMD).

¿Por qué tienen formas tan diferentes algunas colas cometarias?

La forma y el aspecto de las colas de los cometas se deben a la interacción del viento solar y la radiación solar con el material expulsado desde el núcleo cometario. A menudo se ven dos colas que apuntan en direcciones diferentes. Una de ellas apunta en la dirección opuesta al Sol. Es la cola de plasma o ionizada. La luz ultravioleta del Sol ioniza los gases de la cabellera. El viento solar arrastra fuera del cometa estas partículas ionizadas. La otra es la cola de polvo, y se forma porque el empuje de la radiación solar lanza las pequeñas partículas sólidas de la cabellera en dirección opuesta al Sol. La cola de polvo se curva ligeramente hacia atrás, o se arquea, en la dirección desde la que procede el cometa (figura A3). Como el grado de actividad solar, la rotación del núcleo cometario y las velocidades con la que se expulsan los gases varían enormemente de un cometa a otro, observamos gran cantidad de formas diferentes en las colas cometarias.

¿Cuánto dura el núcleo de un cometa?

Los cometas pierden sustancias volátiles (como, dióxido de carbono y agua) y polvo cada vez que alcanzan el perihelio de sus órbitas, por lo que dejan tras de sí una estela de restos. Esto significa que un núcleo determinado tendrá una cantidad finita de pasos por el perihelio antes de agotar todos los materiales volátiles que porta. Un ejemplo de esto lo ofreció el cometa 2012/S1 ISON, un cometa rasante al Sol que realizó su primer paso por el perihelio en 2013 (Figura A4). El cometa 2012/S1 ISON pareció dejar de generar gas y polvo poco antes de pasar a toda velocidad por el punto de su órbita más próximo al Sol.

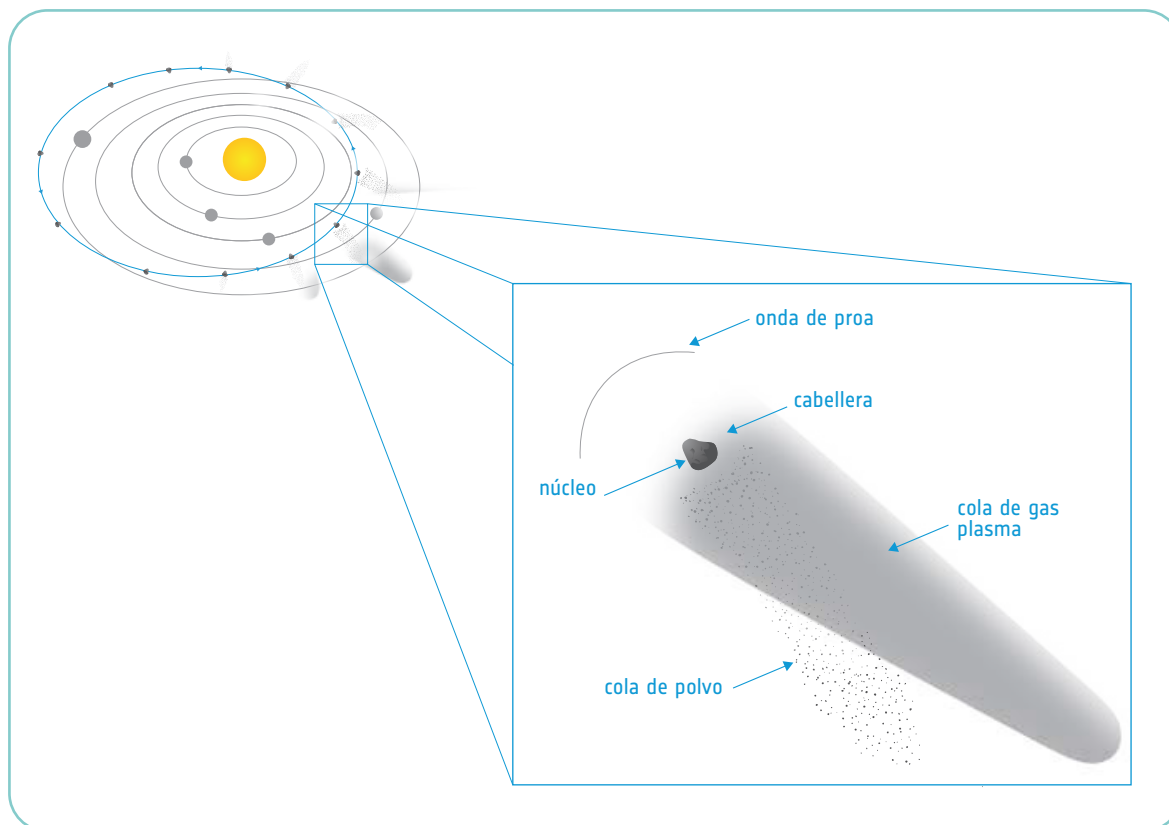
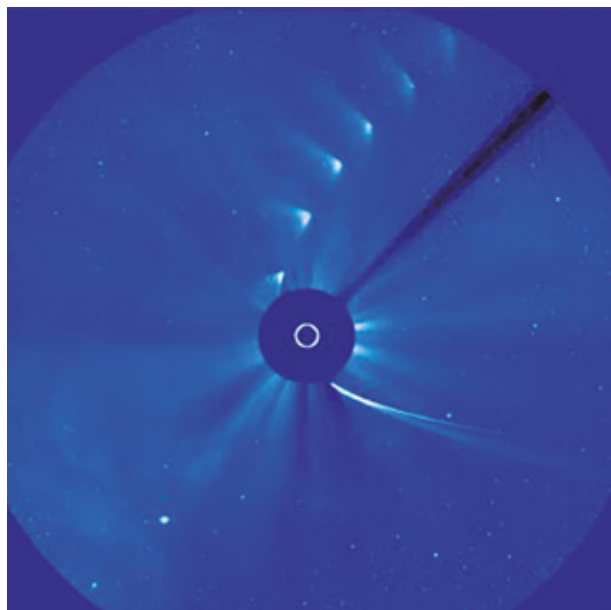


Diagrama que ilustra las dos colas de un cometa y cómo van cambiando a medida que el cometa recorre su órbita alrededor del Sol.



Paso cercano del cometa ISON por el Sol tal como lo registró el satélite SOHO de la ESA y la NASA entre el 28 y el 30 de noviembre de 2013 (SOHO (ESA & NASA)).

¿Qué efectos pueden alterar la órbita de un cometa durante su acercamiento máximo al Sol?

Cuando las sustancias volátiles del núcleo de un cometa (como el dióxido de carbono y el agua) empiezan a calentarse a medida que avanza hacia el Sol, la emisión de gases puede inducir un efecto de retroceso. Cuando se expulsa el gas, este ejerce sobre el cometa una fuerza igual de intensa y en dirección opuesta (tercera ley de Newton), lo que le imprime un ligero empujón. Esto puede alterar un tanto la trayectoria orbital del cometa, así como su periodo alrededor del Sol, ya que el núcleo se desvía de la trayectoria inicial. Como casi todos los núcleos también giran sobre sí mismos

(quizás alrededor de ejes múltiples, por lo que giran tanto hacia delante como hacia los lados) las desviaciones varían enormemente de un cometa a otro.

SESIÓN DE ANÁLISIS ADICIONAL

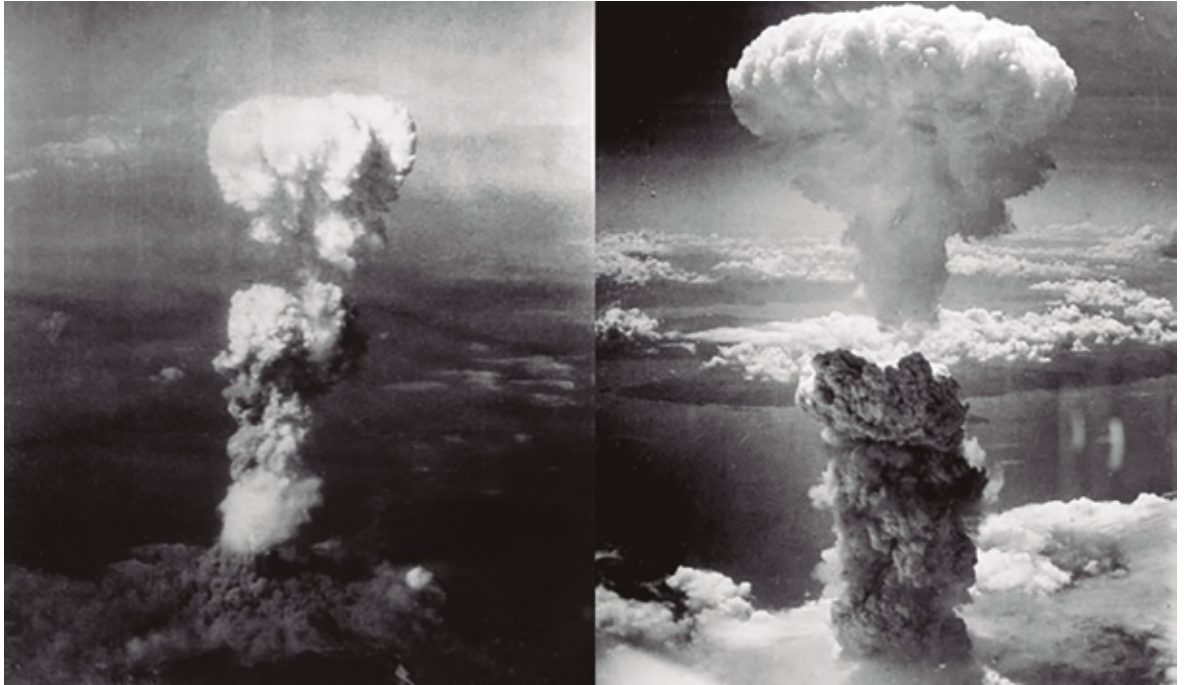
¿pueden chocar contra la Tierra cometas o asteroides?

A partir de lo aprendido durante las detonaciones nucleares realizadas por diversos países desde 1945, y de la ecuación de la energía cinética, se puede calcular con bastante precisión el

A1

a

tamaño del objeto que creó el cráter Meteor. La energía que liberan las armas nucleares se mide en kilotones (kt), de tal modo que 1 kt equivale al rendimiento energético de 1000 toneladas de TNT. $1 \text{ kt} = 4.2 \times 10^{12} \text{ J}$. Las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki (figura A5) tenían un rendimiento energético aproximado de 20 kt cada una.



Izquierda: humo arrojado por la primera bomba atómica lanzada sobre Hiroshima. *Derecha:* lanzamiento de la bomba atómica sobre Nagasaki.

Para crear el cráter Meteor en el tipo de roca que hay en esa zona, se necesitarían unas 2.5 Mt (2500 kt) o unas 125 bombas como la de Hiroshima. Un modelo de simulación matemática o por computadora sugiere que el objeto chocó contra la Tierra a unos 12.8 km s^{-1} . Esto ofrece información suficiente para calcular el tamaño aproximado de aquel objeto.

Hay muchos fragmentos del cuerpo celeste que formó el cráter Meteor dispersos por el paisaje circundante. El análisis de estos fragmentos revela que estaba compuesto en un 92 % de hierro y un 7 % de níquel (el 1 % restante contenía inclusiones de silicato y trazas de otros elementos) y que tenía una densidad media aproximada de 7000 kg m^{-3} .

Todos estos datos permiten efectuar los siguientes cálculos, suponiendo que toda la energía cinética del objeto incidente se transformara en energía de explosión para formar el cráter:

Resumen de los datos

Energía cinética, $EC = 2500 \text{ kt}$

Velocidad de entrada = 12.8 km s^{-1}

$1 \text{ kt} = 4.2 \times 10^{12} \text{ J}$

Densidad del meteorito de hierro, $\rho = 7000 \text{ kg m}^{-3}$

Conversión a julios de la energía necesaria para abrir el cráter

$EC = 2500 \text{ kt} = 2500 \times 4.2 \times 10^{12} \text{ J} = 1.05 \times 10^{16} \text{ J}$

Aplicación de la ecuación de la energía cinética para hallar la masa del objeto incidente

$$EC = 1/2 mv^2$$

Donde al despejar m se obtiene:

$$m = (2E_c)/v^2 = (2 \times 1.05 \times 10^{16} \text{ J})/(12\,800 \text{ m s}^{-1})^2 = 128 \times 10^6 \text{ kg} = 128\,000 \text{ t}$$

Aplicación de la ecuación de la densidad para calcular el volumen del objeto incidente.

Puesto que masa = densidad × volumen

$$\text{Volumen} = \text{masa}/\text{densidad} = (128 \times 10^6 \text{ kg})/(7000 \text{ kg m}^{-3}) = 1.83 \times 10^4 \text{ m}^3$$

Suponiendo que el objeto incidente fuera esférico, utiliza la ecuación de la esfera para calcular su radio. Como alternativa se puede considerar el objeto como un cubo.

Como el volumen de una esfera = $(4/3)\pi r^3$ Al despejar el radio se obtiene,

$$r^3 = (3 \times 1.83 \times 10^4 \text{ m}^3)/(4 \times \pi) = 4371 \text{ m y, por tanto, } r = 16.4 \text{ m}$$

A partir de aquí, el alumnado podrá investigar las limitaciones o incertidumbres de las suposiciones aplicadas al modelo, como:

- A** Suponer la transformación del 100 % de la energía cinética. Parte de la energía también se habría perdido de otras maneras, como el sonido y el calentamiento de la atmósfera.
- B** La incertidumbre de la velocidad de impacto. Este valor se deduce a partir de la observación de un cráter de impacto antiguo, por lo que podría ser impreciso y dar lugar a un cálculo incorrecto del tamaño.
- C** El efecto del ángulo de incidencia. La cantidad de roca que se vaporizará/dispersará variará dependiendo del ángulo de entrada. Puesto que muchos de los factores originales se deducen a partir de estos signos, el ángulo de incidencia establece una gran diferencia en los resultados. La introducción de diferentes ángulos de incidencia para el mismo objeto en el simulador de impactos Down2Earth (véase más abajo y el apartado de enlaces útiles) podría ayudar a ampliar esta cuestión.

Simulador de impactos en línea «Down2Earth»

Down2Earth (véase el apartado de enlaces útiles) es un simulador de impactos disponible en la red con fines educativos que permite al alumnado inferir los parámetros de un impacto, como la composición del objeto en cuestión (asteroide o cometa), el ángulo de incidencia, el tamaño, el tipo de rocas que habrá en el lugar donde cayó y la localización del impacto. Esta herramienta permite predecir cómo influyen estos factores en el tamaño del cráter y relacionarlos con la transferencia de energía durante el impacto. Después se pueden comprobar las predicciones emitidas en un entorno virtual.

CONCLUSIÓN

Los cometas ofrecen un contexto interesante para enseñar numerosas materias en el aula, desde campos gravitatorios y órbitas, energía cinética y transferencia de energía, hasta espectroscopia de cometas y los ingredientes que componen la vida. La fascinación que infunden estos mundos helados arroja gran cantidad de oportunidades interesantes de aprendizaje.

ACTIVIDAD 1

Cocina un mini cometa

En esta actividad reproducirás el núcleo de un cometa utilizando ingredientes comunes para representar los principales grupos de sustancias que se encuentran en los núcleos cometarios. Algunos de los materiales, como el hielo seco, son peligrosos; el docente responsable de la actividad te dará instrucciones sobre cómo utilizarlos.

MATERIAL NECESARIO

- Hielo seco (unos 100 ml)
- Agua (unos 100 ml)
- Bolsas de basura pequeñas
- 3 cucharaditas de tierra
- 1 cucharadita de carbón o grafito en polvo
- 1 cucharadita de güisqui, vodka o vino tinto (componente de metanol/etanol)
- Unas gotas de salsa de soja (componente orgánico)
- Una gota de producto de limpieza (de amoníaco)
- Vaso de plástico desechable
- Cubo para tirar los restos
- Una cucharilla de las de café
- Recipiente de poliestireno para el hielo seco
- Guantes de protección térmica
- Gafas de seguridad para todos los participantes
- Bata de laboratorio protectora

i

INSTRUCCIONES

- 1 Coloca los siguientes ingredientes en un vaso de plástico desechable forrado con una bolsa: agua, tierra, carbón en polvo, vino/alcohol, producto de limpieza y salsa de soja. Estos son algunos de los elementos que componen un cometa de verdad. Mezcla bien con la cucharilla.
- 2 Añade el hielo seco. Remueve la mezcla de agua y el hielo seco. A continuación, con los guantes puestos, moldea el cometa durante unos 30 segundos hasta formar una bola. No lo comprimas en exceso para evitar que se rompa.
- 3 Una vez finalizada la actividad, tira el cometa dentro de una bolsa de basura e introduce esta última en el cubo que te ha proporcionado tu profesor.

EJERCICIOS

Calcula la masa, la velocidad y la energía de un cometa

A través de esta serie de preguntas averiguarás la masa, la velocidad y la energía de un cometa a partir de los datos que figuran en la siguiente tabla.

Masa del Sol

$$m_{\text{Sol}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

Densidad del hielo

$$\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

Constante gravitatoria

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

- 1 Un cometa tiene una energía cinética de $4.5 \times 10^{13} \text{ J}$. Viaja a una velocidad de 34 km s^{-1} . Calcula la masa del cometa.

.....

- 2 Un cometa grande de $5.2 \times 10^8 \text{ kg}$ de masa avanza hacia la Tierra y roza la atmósfera. En el momento de la medición llevaba una velocidad de 49.0 km s^{-1} .

a) Calcula la energía cinética del cometa (en J).

.....

b) Si la energía liberada por la explosión de 1 kilotón (1000 toneladas) de TNT asciende a $4.2 \times 10^{12} \text{ J}$, ¿cuántos kilotones de energía habría liberado este cometa en caso de haber chocado contra la Tierra?

.....

c) Después del paso cercano, la masa y la trayectoria del cometa se vieron alteradas. Propón una explicación para ello.

.....

- 3 Un cometa sigue una órbita elíptica alrededor del Sol. Su acercamiento máximo al astro central lo sitúa a una distancia de $4.9 \times 10^{10} \text{ m}$. En ese punto su velocidad asciende a $8.9 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$. Este objeto proviene de la Nube de Oort, situada mucho más lejos que la órbita de Neptuno. ¿Qué velocidad llevará cuando se encuentre a $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ del Sol (esta es la distancia orbital que media entre la Tierra y el Sol)?

.....

- 4 ¿Cómo crees que han influido los impactos cometarios y asteroidales en la Tierra y la vida que alberga a lo largo de su historia?

.....

.....

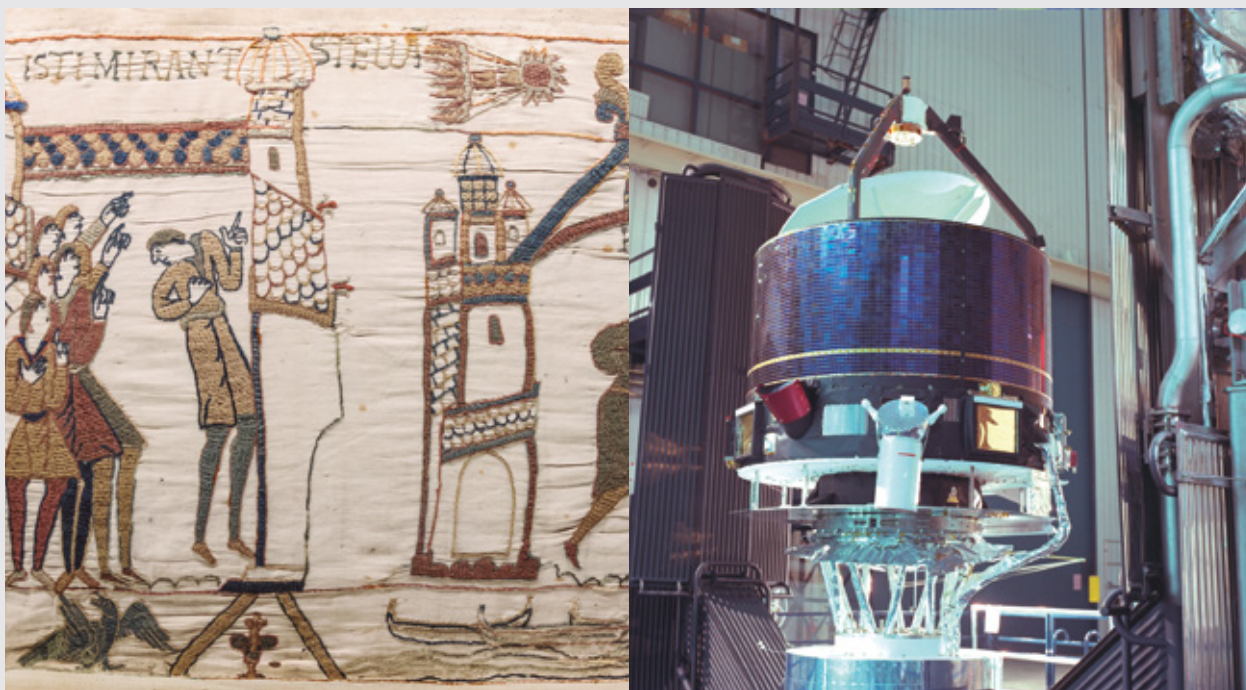
Anexo

COCINA UN COMETA

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

GIOTTO

El cometa 1P/Halley tiene un periodo orbital aproximado de 75.5 años (la cifra varía ligeramente de una órbita a otra debido a la desgasificación del núcleo y a perturbaciones gravitatorias). Este cometa se ha observado desde la Tierra (a simple vista) de manera regular y existen registros de su avistamiento desde el año 240 a.C. aproximadamente. Las anotaciones de estas observaciones han permitido datar los pasos por el perihelio del cometa 1P/Halley con pocos meses de incertidumbre. Un documento famoso en el que consta el avistamiento del cometa 1P/Halley desde la Tierra lo representa el tapiz de Bayeux que representa la batalla de Hastings en el año 1066 (figura 10).



Izquierda: el cometa 1P/Halley representado en el tapiz de Bayeux. *Derecha:* Sonda Giotto lista para realizar la prueba de simulación solar (ESA).

En tiempos más recientes, en el año 1986, el cometa 1P/Halley realizó su primer acercamiento al Sol desde el inicio de la era espacial. La nave espacial Giotto de la ESA (figura 11) pasó ante su núcleo desde una distancia de inferior a 600 km, lo que le permitió obtener las primeras imágenes cercanas de un núcleo cometario (figuras 12 y 13). Estas observaciones transformaron los conocimientos científicos sobre estos objetos helados.

Giotto observó que la superficie del núcleo era muy oscura, más negra que el carbón: esto indujo a pensar que está cubierta por una capa de polvo. Los datos revelaron que la abundancia o la proporción de elementos ligeros (hidrógeno, carbono y oxígeno) en el cometa 1P/Halley es similar a la del Sol, lo que significa que está compuesto por el mismo material original a partir del que se formó el Sistema Solar.

Anexo

COCINA UN COMETA

La composición de imágenes de la figura 12 muestra más características que se tornan evidentes a medida que la nave se acerca al núcleo.



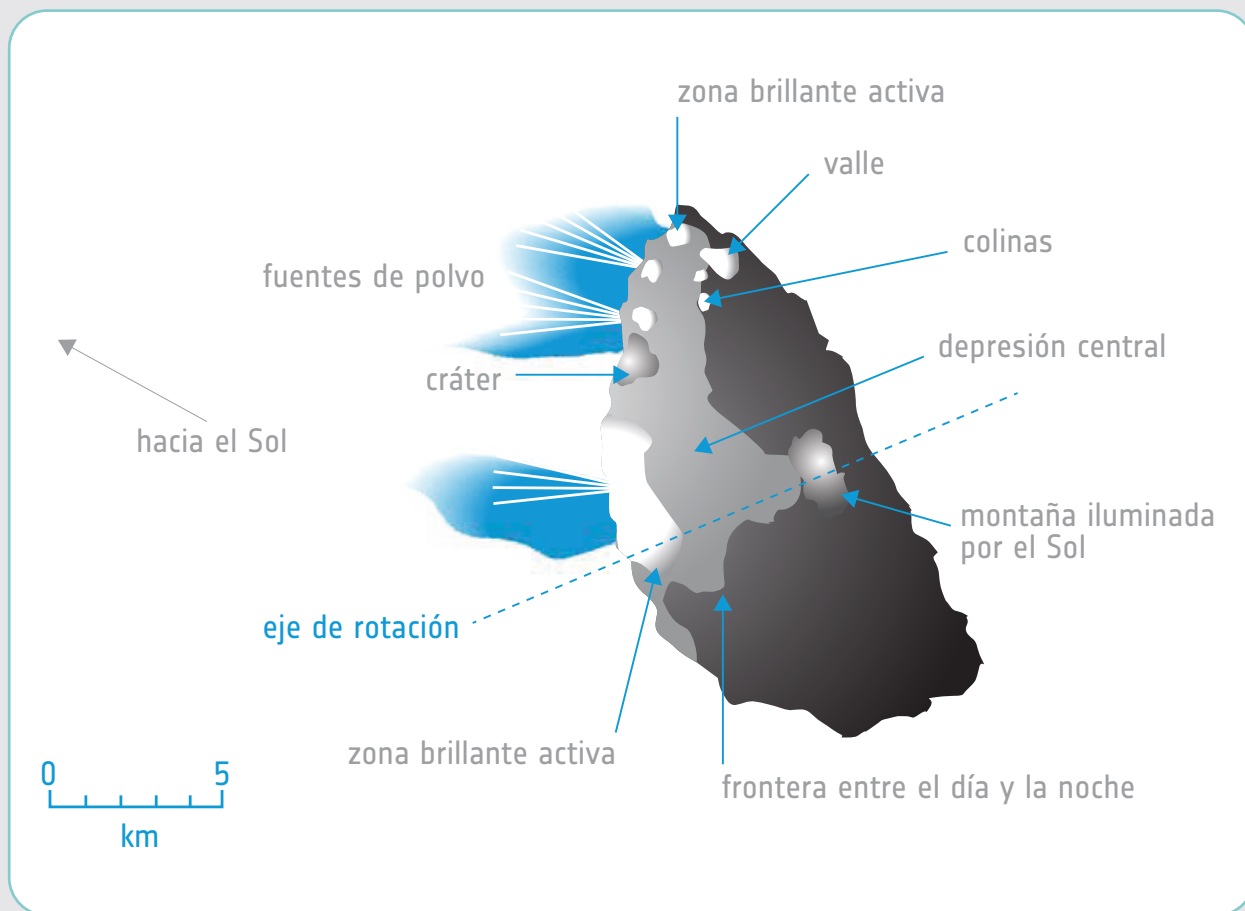
Núcleo del cometa 1P/Halley visto desde la nave Giotto durante su máximo acercamiento a este objeto (MPAE, courtesy of Dr. H.U. Keller).



Imagen del núcleo del cometa 1P/Halley tomada por la nave Giotto (ESA. Courtesy of MP Ae, Lindau.).

Anexo

COCINA UN COMETA



Rasgos principales identificados en las imágenes del cometa 1P/Halley enviadas a la Tierra por la sonda Giotto de la ESA.

La figura 14 muestra rasgos interpretados a partir de una imagen del núcleo del cometa 1P/Halley (figura 13). Se ven chorros de materia o fuentes de polvo emergiendo de la superficie del núcleo. Esto se debe a la veloz sublimación de las sustancias volátiles que hay en la superficie del núcleo y cerca de ella. A medida que aumenta la presión de estas sustancias volátiles en expansión, acaban saliendo expulsadas mediante un proceso conocido como desgasificación.

SOHO - OBSERVATORIO SOLAR Y HELIOSFÉRICO

El Observatorio Solar y Heliosférico de la ESA/NASA, o SOHO, vigila el Sol desde una distancia de 1.5 millones de kilómetros de la Tierra (figura 15). En ese lugar, la gravedad combinada de la Tierra y el Sol mantiene la nave fijada en una órbita sobre la línea Tierra-Sol. Desde esta posición, SOHO tiene una visión ininterrumpida de nuestra estrella central y, por tanto, puede observarla las 24 horas del día.

SOHO se diseñó para estudiar la estructura interna del Sol, su extensa atmósfera exterior (la corona) y el origen del viento solar. Esta nave lanzada en 1995 ha efectuado sus observaciones

a lo largo de un ciclo solar completo, lo que ha proporcionado datos científicos valiosos que ayudan a entender los altibajos del comportamiento del Sol a largo plazo.

Desde esa posición única, la sonda SOHO también ha tenido la oportunidad de observar miles de cometas que se aproximan al Sol, incluido el cometa 2012/S1 ISON, que se acercó a él durante su perihelio en 2013. SOHO es uno de los mayores descubridores de cometas de todos los tiempos y ha detectado más de 2700 objetos de este tipo desde su lanzamiento.

COMETA 103P/HARTLEY Y HERSCHEL

El observatorio espacial infrarrojo Herschel de la ESA (figura 16) se lanzó en 2009 con el telescopio infrarrojo de mayor tamaño y más potente enviado jamás al espacio. Fue el primer observatorio que abarcó todo el espectro de este tipo de luz, desde el infrarrojo lejano hasta las longitudes de onda submilimétricas. Las observaciones de Herschel escudriñaron más el infrarrojo lejano que cualquier otra misión anterior para estudiar regiones pulverulentas y frías del cosmos imposibles de ver de otro modo tanto de cerca como de lejos.

En 2010 Herschel realizó observaciones espectroscópicas en el infrarrojo lejano del cometa 103P/Hartley y detectó la expulsión de grandes cantidades de agua desde el núcleo, tal como se aprecia en rojo y blanco en la figura 17. Estas observaciones se realizaron cerca del perihelio del cometa (su acercamiento máximo al Sol).

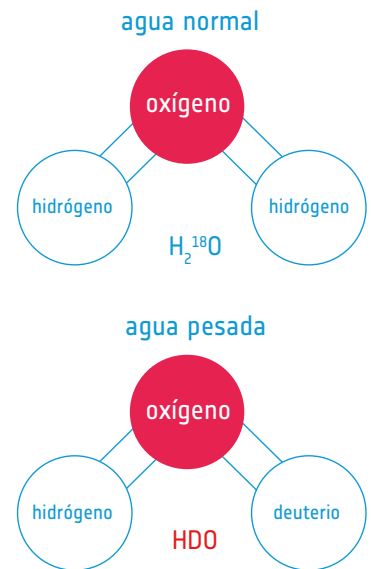
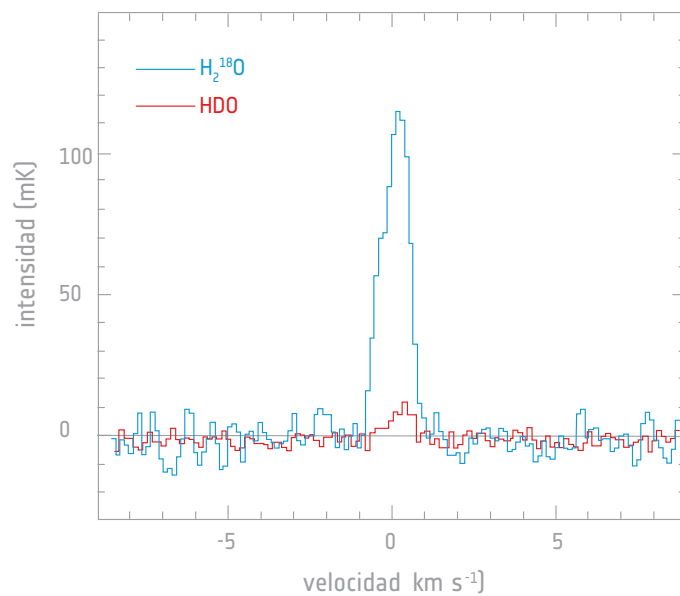
Las mediciones espectroscópicas en el infrarrojo realizadas por el instrumento HIFI a bordo de Herschel, permitieron calcular la proporción de deuterio (o hidrógeno pesado, es decir, átomos de hidrógeno con un neutrón en su núcleo, además de un protón) en el hidrógeno del agua expulsada por el núcleo del cometa (es decir, la proporción de agua normal con respecto al agua «deuterada», conocida como agua pesada; figura 18). Con ello se descubrió que el agua de este cometa en particular tiene, a diferencia de otros observados, una proporción idéntica a la del agua de los océanos de la Tierra. Esto proporcionó la primera prueba directa para respaldar la teoría de que el agua original de la Tierra tenía el mismo origen que algunos cometas.



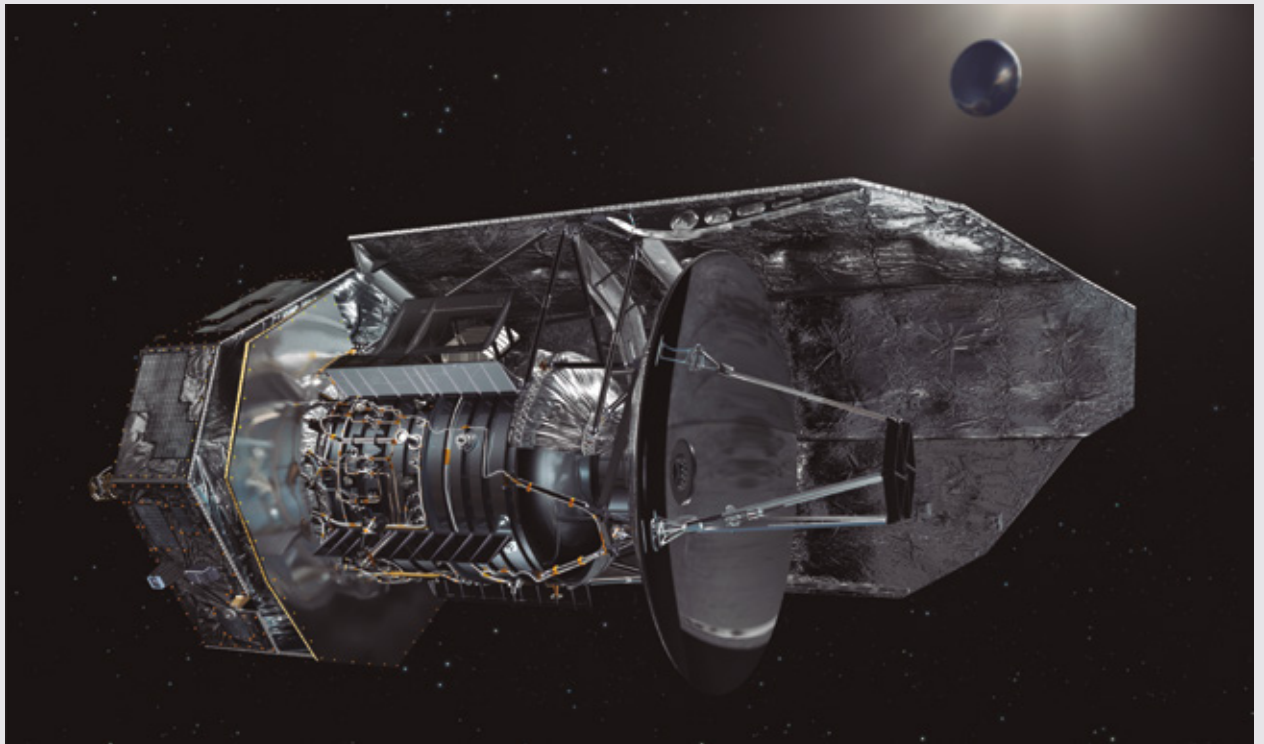
Reproducción artística de la nave SOHO (SMM (IAC)).

Anexo

COCINA UN COMETA

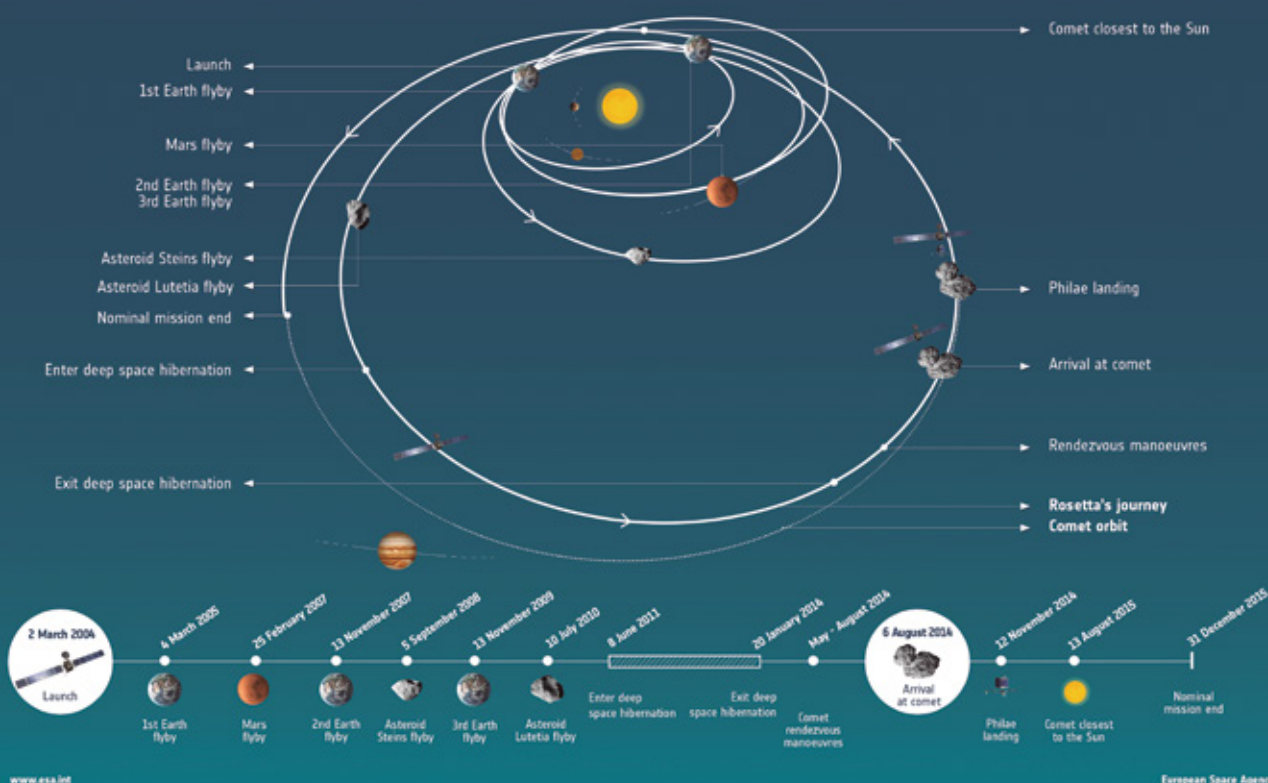


El agua pesada, que porta un neutrón adicional en uno de los hidrógenos que componen la molécula, genera un pico espectral más pequeño.



Reproducción artística del observatorio espacial infrarrojo Herschel (ESA (Image by AOES Medialab).

→ ROSETTA'S JOURNEY



La nave Rosetta de la ESA realizó una serie de maniobras de asistencia gravitatoria para alcanzar su objetivo.

ROSETTA

La misión Rosetta de la ESA con destino al cometa 67P/Churyumov-Gerasimeko se lanzó en 2004 para realizar un viaje de 10 años hasta alcanzar el núcleo del cometa y aterrizar en él.

El objetivo principal de Rosetta consiste en ayudar a conocer el origen y la evolución del Sistema Solar. La composición de un cometa revela la que tenía la nebulosa original a partir de la cual se formaron el Sol y los planetas del Sistema Solar más de 4600 millones de años atrás. El análisis en profundidad del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko por parte de Rosetta y su módulo de aterrizaje proporcionará información esencial para saber cómo surgió el Sistema Solar.

Hay indicios convincentes de que los cometas desempeñaron un papel crucial en la evolución de los planetas, ya que se sabe que los impactos cometarios fueron mucho más habituales en el Sistema Solar primigenio que en la actualidad.

La misión Rosetta de la ESA con destino al cometa 67P/Churyumov-Gerasimeko se lanzó en 2004 [...] El objetivo principal de Rosetta consiste en ayudar a conocer el origen y la evolución del Sistema Solar

Anexo

COCINA UN COMETA



El módulo de aterrizaje Philae fue el primer aparato humano que aterrizó en la superficie de un cometa (*Spacecraft: ESA-J. Huart, 2014; Comet image: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA*).

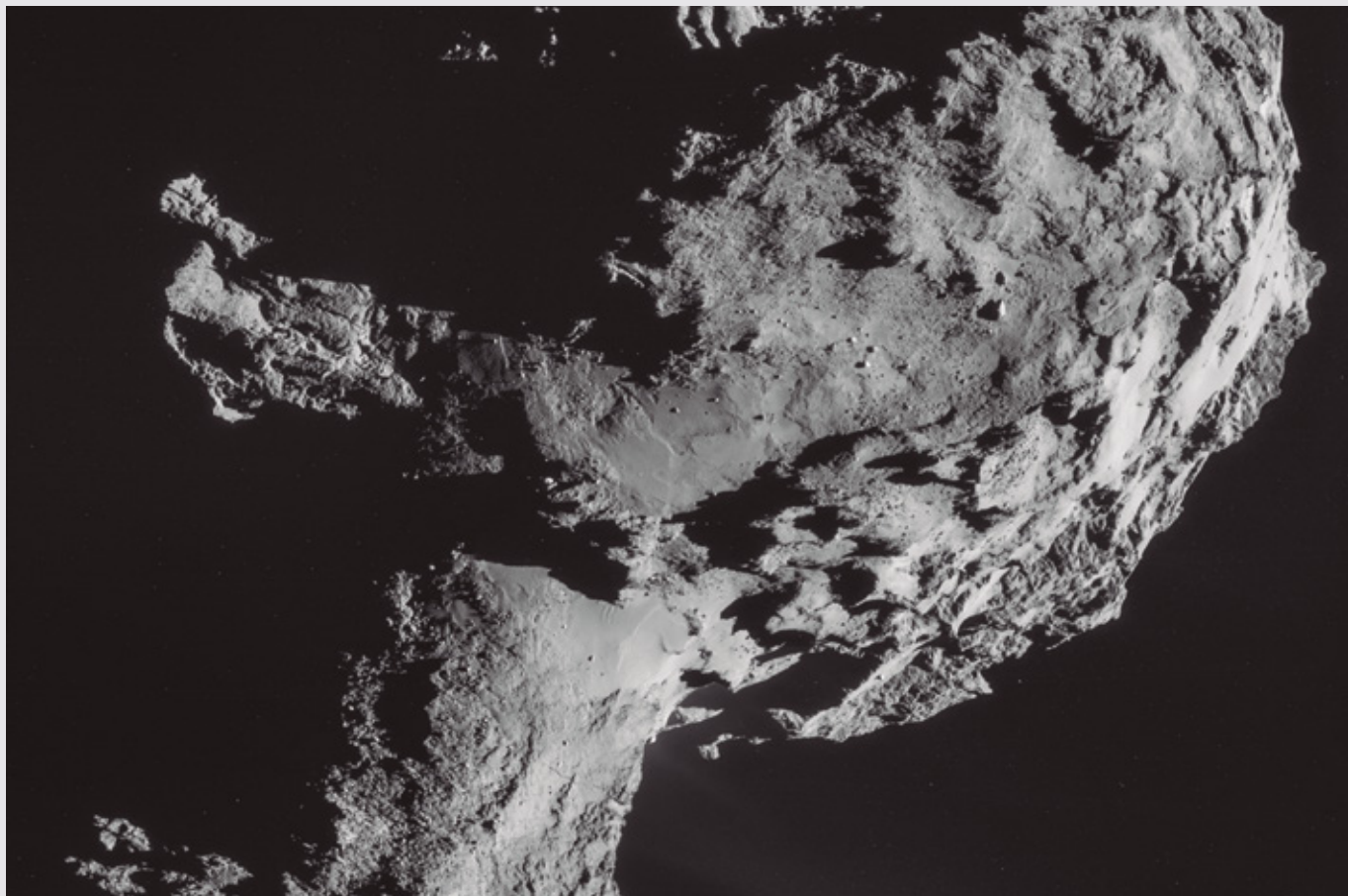
Las observaciones del cometa 103P/Hartley apuntaban a que algunos cometas podrían haber traído agua a la Tierra, pero la misión Rosetta al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko reveló que su proporción entre agua pesada y agua normal es muy distinta a la de los océanos terrestres, lo cual obliga a revisar la hipótesis anterior. Además de hielo y polvo, los cometas contienen numerosas moléculas complejas, incluidas sustancias orgánicas que también pudieron desempeñar un papel crucial para la evolución de la vida en la Tierra.

Para llegar al cometa, Rosetta tuvo que aprovechar una serie «asistencias» gravitatorias, que le permitieron usar la gravedad de otros cuerpos celestes para acelerar la nave (figura 19). Para propulsarse hacia el espacio, Rosetta tuvo que realizar cuatro maniobras de asistencia gravitatoria que incluyeron tres sobrevuelos cercanos de la Tierra y uno de Marte. Cada una de estas maniobras cambió la energía cinética de Rosetta y, por tanto, la velocidad de la nave, lo que alteró las dimensiones de su órbita elíptica.

Con un viaje tan largo por delante, Rosetta entró en hibernación en junio de 2011 para reducir al máximo el consumo de energía y combustible, así como los costes de operación. Casi todos los sistemas eléctricos de Rosetta se apagaron, a excepción del ordenador y de varios calefactores.

En enero de 2014, el «despertador» interno preprogramado de Rosetta inició una cuidadosa reactivación de la nave para preparar su encuentro con el cometa 67P/Churyumov-Gerasimeko. Tras el despertar, los 11 instrumentos científicos del módulo orbitador y los 10 instrumentos del módulo de aterrizaje se encendieron y se prepararon para las observaciones científicas. A continuación, se llevó a cabo una serie de diez maniobras cruciales de corrección orbital para frenar la velocidad de la nave en relación con el cometa y así ajustarse a su órbita elíptica.

Una vez que Rosetta llegó al cometa 67P/Churyumov-Gerasimeko, el 6 de agosto de 2014, inició otras maniobras para colocarse en órbita alrededor del núcleo del cometa. Desde esa posición, el conjunto de instrumentos de Rosetta proporcionó un estudio científico detallado del cometa, escudriñando y cartografiando la superficie con un grado de detalle sin precedentes (figura 20).



Mosaico formado por cuatro imágenes NAVCAM del cometa 67P/Churyumov-Gerasimeko a partir de fotografías tomadas el 19 de septiembre de 2014 cuando Rosetta se encontraba a 28.6 km del cometa. (ESA (ESA/Rosetta/NAVCAM)).

En noviembre de 2014, tras cartografiar y analizar el núcleo del cometa durante varios meses, Rosetta liberó el módulo Philae para realizar el primer aterrizaje de la historia sobre el núcleo de un cometa. Como estos objetos tienen tan poca gravedad, Philae utilizó arpones y tornillos de hielo para fijarse a la superficie pero, aun así, el aterrizaje fue muy accidentado y en una configuración anómala. La figura 21 muestra una reproducción artística de Philae descendiendo sobre el cometa.

El módulo de aterrizaje Philae portaba 10 instrumentos, entre ellos un taladro para tomar muestras de la superficie, y **espectrómetros*** para analizar directamente la estructura y composición del cometa.

Tras el aterrizaje, Rosetta siguió acompañando al cometa en su recorrido elíptico alrededor del Sol. Rosetta aceleró de nuevo hacia el Sistema Solar interior con el cometa y continuó estudiando y observando de cerca cómo se calentaba el núcleo helado del cometa a medida que se acercaba al Sol. Finalmente, también la nave principal se dejó caer sobre el cometa.

La misión Rosetta de la ESA con destino al cometa 67P/Churyumov-Gerasimeko se lanzó en 2004 [...] El objetivo principal de Rosetta consiste en ayudar a conocer el origen y la evolución del Sistema Solar

* **Espectrómetro:** instrumento que permite descomponer la luz en todas las longitudes de onda que la forman para medir las características de la fuente de luz.



Glosario

AFELIO: Punto de una órbita más alejado del Sol.

ESPECTRÓMETRO: Instrumento que permite descomponer la luz en todas las longitudes de onda que la forman para medir las características de la fuente de luz.

ONDA DE PROA (DE UN COMETA): Superficie de interacción entre los iones de la cabellera de un cometa y el viento solar. La onda de proa se forma porque la velocidad orbital relativa del cometa y el viento solar es supersónica. La onda de proa aparece en la parte frontal del cometa, aquella sobre la que incide el viento solar. En la onda de proa se acumulan grandes concentraciones de iones cometarios que cargan de plasma el campo magnético solar. El resultado es que las líneas de campo se curvan en torno al cometa, con lo que atrapan los iones cometarios y forman la cola de gas, también llamada de plasma o cola ionizada.

PERIHELIO: Punto de una órbita más cercano al Sol.

PERIODO ORBITAL: Tiempo que un objeto tarda en dar una vuelta completa a una órbita.

PERTURBACIONES GRAVITATORIAS: Cambios en la órbita de un objeto celeste (como un planeta o cometa) debido a interacciones con el campo gravitatorio de otros cuerpos celestes (como planetas gigantes u otras estrellas).

PUNTOS LAGRANGIANOS: Dentro de cualquier configuración orbital siempre hay cinco puntos en los que un objeto afectado únicamente por la gravedad puede orbitar de manera estable. Para más información véase el vídeo VP04 de la guía didáctica ESA sobre pozos gravitatorios (consúltese el apartado de enlaces útiles).

SOBREVUELO: Paso de una nave espacial cerca de un planeta u otro objeto celeste. Si la nave espacial aprovecha el campo gravitatorio del planeta u objeto para incrementar su velocidad y modificar su trayectoria, se denomina maniobra de asistencia gravitatoria.

SUBLIMAR (SUBLIMACIÓN): Paso directo de una sustancia desde el estado sólido al estado gaseoso, sin pasar por la fase líquida, por efecto del calor. Cuando el gas vuelve a enfriarse suele formar un depósito sólido.

UNIDAD ASTRONÓMICA (AU): 1 au se corresponde con el promedio de la distancia que separa la Tierra del Sol o con el radio orbital de la Tierra, que asciende a unos 150 millones de km.

VIENTO SOLAR: Corriente de partículas de alta energía (plasma) que despiende en todas direcciones la alta atmósfera del Sol. Se compone sobre todo de electrones y protones.

COCINA UN COMETA

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



Enlaces de interés

ROSETTA

Página web de Rosetta ESA

www.esa.int/rosetta

Blog de Rosetta ESA

<https://blogs.esa.int/rosetta/>

Videos y animaciones sobre Rosetta

https://www.esa.int/Education/Teach_with_Rosetta/Rosetta_videos2

Imágenes de Rosetta

https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Rosetta_image_archive_complete

Información global sobre Rosetta, incluido el calendario de la misión

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_factsheet

Evolución de la misión hasta la actualidad

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_the_story_so_far

A la caza de un cometa

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Chasing_a_comet

Un viaje espacial de 12 años

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/10/Rosetta_s_twelve-year_journey_in_space

Órbita de Rosetta alrededor de un cometa

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet

Cómo se orbita un cometa

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How_to_orbit_a_comet

Rosetta y el debate sobre el origen de los océanos terrestres

https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Rosetta_fuels_debate_on_origin_of_Earth_s_oceans



COMETAS

Artículo sobre cometas en la sección ESA Kids

https://www.esa.int/kids/es/Aprende/Nuestro_Universo/Cometas_y_meteoritos/Los_cometas

Página web (técnica) de la misión Rosetta ESA

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Página web de la misión Giotto ESA

<https://sci.esa.int/web/giotto/>

Página web de Rosetta ESA

www.esa.int/rosetta

Artículo en la sección ESA Kids sobre el universo

https://www.esa.int/kids/es/Aprende/Nuestro_Universo/Historia_del_Universo/El_Universo

GIOTTO

Resumen sobre la misión Giotto

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Giotto_overview

HERSCHEL

Página web del observatorio espacial Herschel ESA

www.esa.int/herschel

¿Proceden de los cometas los océanos de la Tierra?

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Herschel/Did_Earth_s_oceans_come_from_comets

SOHO

Página web de la misión SOHO ESA

soho.esac.esa.int

Vídeo del acercamiento del cometa ISON al Sol tomado desde el satélite SOHO ESA/NASA

sci.esa.int/soho/54346-soholasco-view-of-comet-ison-27-30-november-2013/

COLISIONES CONTRA LA TIERRA

Simulador de impactos Down2Earth

education.down2earth.eu/

SERIE «ENSEÑAR CON EL ESPACIO» (ESERO)

Vídeo de la guía didáctica titulada «Pozos gravitatorios» VP04

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_classroom_demonstration_video_VP04

Guía didáctica para enseñanza secundaria «Elipses fabulosas»

http://esero.es/wp-content/uploads/2020/11/Deteccio%CC%81n-de-exoplanetas.-Escondidos-en-la-luz_Elipses-fabulosas_DE-SB-02-CORREGIDAS.pdf

Vídeo de la guía didáctica titulada «Elipses fabulosas» VP02

https://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_ellipses_-_classroom_demonstration_video_VP02

Vídeo de la guía didáctica «Cocina un cometa» VP06

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_ingredients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VP06

Spain



EUROPEAN SPACE EDUCATION RESOURCE OFFICE
A collaboration between ESA & national partners



La **Oficina Europea de Recursos para la Educación Espacial en España (ESERO Spain)**, con el lema «Del espacio al aula» y aprovechando la fascinación que el alumnado siente por el espacio, tiene como objetivo principal proporcionar recursos a docentes de primaria y secundaria para mejorar su alfabetización y competencias en materias CTIM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

Este proyecto educativo de la **Agencia Espacial Europea** está liderado en España por el **Parque de las Ciencias de Granada** y cuenta con la colaboración de instituciones educativas tanto nacionales como de ámbito regional en las distintas comunidades autónomas.

Investigación planetaria

COLECCIÓN
ESCONDIDOS EN LA LUZ

Incluye, entre otros:

En la zona Ricitos de Oro
¿Hay alguien ahí fuera?
La magia de la luz
El Sistema Solar
Comunicación interplanetaria
Historia del Universo
Modelado de tránsitos de exoplanetas
Elipses fabulosas
Pelotas baricéntricas
Osos espaciales
Cocina un cometa

1ª edición: Noviembre 2025

ESERO SPAIN

Parque de las Ciencias
Avda. de la Ciencia s/n.
18006 Granada (España)
T: 958 131 900

info@esero.es • www.esero.es

IP-SB-05

COCINA UN COMETA

CUADERNO DEL PROFESORADO
SECUNDARIA Y BACHILLERATO