

Spain



INGENIERÍA DE ASTRONAVES  
Naves espaciales en órbita

IA-SB-04



# Botella a reacción

Aplicación de las leyes de Newton a cohetes





**E**n esta actividad se mezcla alcohol con aire dentro de una botella grande de plástico (de las usadas para envasar agua) y luego se provoca su ignición para reproducir los principios físicos de los motores cohete químicos. La actividad puede consistir en una demostración por parte del docente o en un experimento para que lo realice el alumnado, y en cada caso se seguirán procedimientos diferentes. El alumnado presenciará una reacción rápida acompañada por un estruendoso «zumbido» y llamas. A continuación los estudiantes debatirán las similitudes y diferencias entre la reacción obtenida en laboratorio y la reacción que se produce en los motores de cohetes. La actividad concluirá con la aplicación matemática de las leyes de la dinámica de Newton por parte del alumnado a lo que acaban de observar.

## SUMARIO

- 3** Datos básicos
- 4** Introducción
- 6** Actividad 1. ¡Arde combustible, arde!
- 10** Actividad 2. Aplicación de la segunda ley de Newton a cohetes
- 12** Fichas de trabajo para el alumnado
- 19** Enlaces de interés

IA-SB-04

### Botella a reacción

Aplicación de las leyes de Newton a cohetes

1ª Edición. Junio 2020

Guía para el profesorado

Ciclo  
Secundaria y bachillerato

Edita  
ESERO Spain, 2020 ©  
Parque de las Ciencias. Granada

Traducción  
Dulcinea Otero Piñeiro

Dirección  
Parque de las Ciencias, Granada.

Créditos de la imagen de portada:  
ESA. Anu Ojha

Créditos de la imagen de la colección:  
NASA/ESA/ATG Medialab

Basado en la idea original:  
WHOOSH BOTTLE  
Applying Newton's laws to rockets  
Colección "Teach with space". ESA Education

Idea desarrollada para la ESA por  
la National Space Academy (NSA, Reino Unido)





Vídeo demostrativo  
de la actividad  
Botella a reacción  
"Whoosh bottle"



## Objetivos didácticos



### EL ALUMNADO APRENDERÁ:

- Cómo funcionan los motores de cohete químicos.
- A aplicar las tres leyes de la dinámica de Newton a los motores cohete.
- La relación entre empuje y aceleración.
- A realizar cálculos relacionados con fuerzas.

### EL ALUMNADO REFORZARÁ:

- La capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos a través de observaciones experimentales para resolver problemas teóricos.
- La capacidad para trabajar con seguridad en un laboratorio.



**45 min.**

#### Materia

Física y Química

#### Intervalo de edades

De 14 a 17 años

#### Tipo de actividad

Demostración práctica o actividad con el alumnado

#### Dificultad

Fácil

#### Lugar para realizar la actividad

Laboratorio

#### Términos clave

Física: Lanzamiento de cohetes, Fuerzas de acción y reacción, Leyes de Newton  
Química: Reacciones de combustión

#### Incluye el empleo de

Combustibles muy inflamables (etanol u otro alcohol)

#### Tiempo de preparación docente

20 minutos\*

\* Para leer la actividad.



# Botella a reacción

## Conocimientos científicos



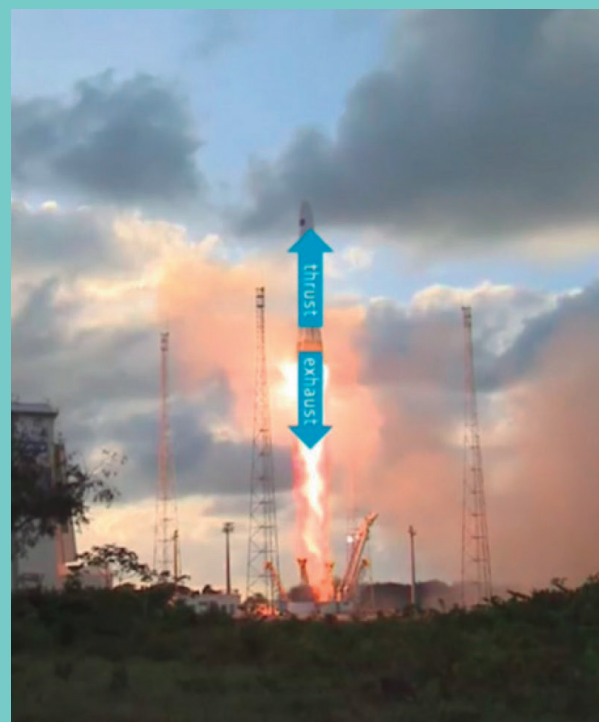
- Entender las fuerzas es fundamental para saber cómo y por qué se mueve la materia en el universo. Los efectos de las fuerzas se pueden describir mediante las leyes de la dinámica de Newton.

En esta actividad se aplican las leyes de Newton a la ciencia de los cohetes:

- **Primera y segunda leyes de Newton:** la fuerza resultante sobre el cohete (el empuje menos el conjunto total de las fuerzas que actúan en sentido contrario) causa una aceleración que se puede calcular aplicando la segunda ley de Newton  $F = ma$ , e introduciendo en ella la masa del cohete. A medida que avanza la combustión en el motor de cada etapa del cohete, la masa del cohete se reduce según el motor va expulsando los productos de la reacción química. Esto significa que la aceleración que se produce en cada etapa para un empuje dado aumenta con el tiempo.
- **Tercera ley de Newton:** cuando un motor cohete expelle gases de escape en un sentido, los gases expulsados ejercen una fuerza igual y opuesta contra el cohete. Esto se denomina la fuerza de reacción o fuerza de empuje producida por el motor. La reacción impulsa el cohete hacia arriba en sentido opuesto al suelo.

Un modelo más realista de este concepto se puede estudiar mediante la aplicación de la versión completa de la segunda ley de Newton (la fuerza es proporcional al ritmo al que cambia la cantidad de movimiento). Si esto se combina con la tercera ley de Newton se ve que se puede conseguir un empuje mayor si:

- A** Se maximiza la masa de los gases de escape que se expulsan por segundo.
- B** Se maximiza la velocidad del gas de escape.
- C** Se minimiza el tiempo en el que sucede todo ello. ●







### 1ª Ley de Newton

*Si sobre un objeto no actúa ninguna fuerza neta (o RESULTANTE), entonces ese objeto permanecerá en reposo o seguirá moviéndose con una velocidad constante (es decir, viajará en línea recta con una celeridad constante). Se necesitan fuerzas para alterar la celeridad o la dirección de cualquier objeto.*

Se produce un equilibrio cuando la fuerza resultante (o neta) sobre un objeto vale cero. Si un objeto se acelera (es decir, si cambia de dirección de movimiento o de celeridad, o ambas cosas) es porque tiene que haber una fuerza resultante que actúe sobre él.

### 2ª Ley de Newton

*La fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es proporcional al ritmo al que cambia su cantidad de movimiento:  $F = ma$ , donde  $F$  se mide en newtons (N).*

La segunda ley de Newton resuelve cómo una fuerza resultante altera el movimiento de un objeto.

### 3ª Ley de Newton

*Si el cuerpo A ejerce una fuerza sobre el cuerpo B, entonces a través de ese proceso el cuerpo B ejercerá una fuerza igual y opuesta sobre el cuerpo A.*

Esto suele expresarse como «toda acción tiene una reacción igual y opuesta». Las fuerzas se producen por pares y ningún objeto puede ejercer una fuerza sobre sí mismo de manera aislada.

**Página anterior. De arriba a abajo:** Para lanzar un cohete al espacio hace falta un impulso lo bastante intenso. Imágenes del video demostrativo del experimento de la botella a reacción (The Whoosh bottle Classroom Demonstration Video).

thrust = empuje

exhaust = gas de escape



## ACTIVIDADES

### 01

#### ¡ARDE, COMBUSTIBLE, ARDE!

##### Descripción

Esta actividad consiste en hacer que una mezcla de aire y alcohol entre en ignición dentro de una botella, para reproducir lo que ocurre con la ignición de los combustibles durante el lanzamiento de un cohete.

##### Resultado

El alumnado observará una reacción veloz acompañada por un estruendoso «zum-bido» y llamas, lo que les revelará la gran cantidad de energía que liberan las reacciones de combustión.

##### Requisitos

Ninguno.

##### Tiempo

25 minutos

### 02

#### APLICACIÓN DE LA SEGUNDA LEY DE NEWTON A COHETES

##### Descripción

Para lanzar un cohete al espacio tiene que haber suficiente empuje como para contrarrestar la gravedad.

##### Resultado

En esta actividad el alumnado aplicará la segunda ley de Newton a cohetes para calcular la cantidad de combustible que necesita un cohete para generar el empuje necesario para su lanzamiento.

##### Requisitos

Ninguno.

##### Tiempo

20 minutos



# A1

## ACTIVIDAD 1

# ¡Arde, combustible, arde!



25 min.

Ejercicios

1



Esta actividad consiste en hacer que una mezcla de aire y alcohol entre en ignición dentro de una botella, para reproducir lo que ocurre con la ignición de los combustibles durante el lanzamiento de un cohete. El alumnado observará una reacción veloz acompañada por un estruendoso «zumbido» y llamas, lo que les revelará la gran cantidad de energía que liberan las reacciones de combustión. Los motores cohete químicos aprovechan las altas presiones y temperaturas de la combustión para acelerar los gases de escape e impulsar el cohete hacia arriba.

### MATERIAL NECESARIO

- 1 o más botellas de agua grandes de plástico como las que usan las máquinas dispensadoras de agua (*de unos 20 litros*)
- 15 ml de alcohol desnaturalizado industrial (más económico) o de alcohol puro (*más caro*)
- Cerillas y varillas de madera
- Gafas de seguridad
- Un metro de carpintería (*la cerilla o varilla de madera deberá fijarse al extremo de este metro para que quien realice la demostración se mantenga a una distancia segura en el momento de prender la botella de agua grande*)
- 1 par de guantes de alta protección

### SEGURIDAD

- El etanol (y cualquier otro alcohol en caso de usarse) es una sustancia muy inflamable. **No lo uses en contacto directo con llamas.**
- Asegúrate de que las sustancias químicas inflamables, incluidos todos los alcoholes, **permanecen en recipientes cerrados mientras no los uses.**
- **Lleva puestas** en todo momento las gafas de seguridad.
- Comprueba que las botellas **no están deterioradas o dañadas.** Si tienen alguna grieta, cámbialas por otras en buen estado.
- **Lleva guantes** puestos en todo momento al prender la botella. Presta atención para apartar el cuerpo de la parte superior de la botella.
- Avisa a todo el alumnado y las personas presentes sobre los posibles niveles de ruido y pide que quienes tengan problemas de audición **se protejan los oídos.**
- **No realices la demostración con la botella invertida** para intentar que la botella a reacción salga disparada hacia arriba.
- Sigue las **medidas generales de seguridad** dentro del laboratorio.



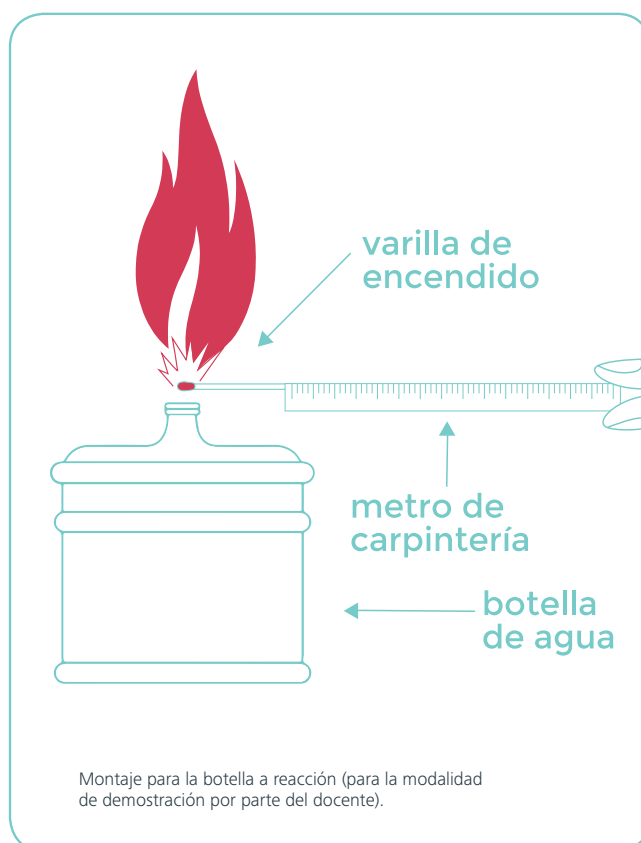
## PREPARACIÓN DEL EXPERIMENTO

El vídeo con la demostración en clase del experimento de la botella a reacción (The Whoosh bottle Classroom Demonstration Video), disponible en los enlaces de interés y en el QR de la página anterior, muestra todos los preparativos necesarios para realizar esta actividad y describe cómo llevarla a cabo. El procedimiento que se sigue en esta guía docente da información sobre los materiales requeridos e instrucciones para que el docente realice esta actividad a modo de demostración en clase. Para realizar esta actividad en forma de experimento de laboratorio con el alumnado deberán utilizarse botellas de plástico (de envasar agua) pequeñas, tal como se propone en la ficha de actividades para el alumnado.

Esta demostración se ve mejor si se realiza en una habitación oscura.

## EJERCICIO

- 1 Ponte las gafas de seguridad.
- 2 Retira el tapón de la botella de agua y asegúrate de que está completamente seca.
- 3 Vierte en el interior de la botella unos 15 ml de combustible. Los combustibles adecuados para este experimento son alcohol desnaturalizado, metanol, etanol, 1-propanol (alcohol propílico) o 2-propanol (alcohol isopropílico).
- 4 Vuelve a colocar el tapón y agita bien durante al menos un minuto. El movimiento servirá para evaporar el alcohol.
- 5 Si queda algo de combustible en el fondo de la botella, viértelo fuera y vuelve a poner el tapón. Asegúrate de que el alumnado ve que haces esto.
- 6 Fija una cerilla larga o una varilla de madera al extremo de un metro de carpintería y sujétala con un ángulo ligeramente inclinado hacia abajo. Enciende la varilla, retira el tapón de la botella y sujeta la regla de manera que el extremo encendido se encuentre justo encima del cuello de la botella.
- 7 La reacción se producirá con rapidez ¡y con un fuerte estruendo! Una vez concluya la reacción, dale la vuelta a la botella para que quede invertida y muestra al alumnado las gotas de líquido incoloro que caen al exterior. Entrega la botella a los estudiantes para que se la pasen de unos a otros y comprueben que está caliente, sobre todo por la superficie superior.
- 8 Si dispones de más botellas, podría ser interesante repetir el experimento con otros combustibles. Otra opción consiste en reutilizar la misma botella después de renovar el aire usando una bomba de vacío que funcione a la inversa o después de bombear aire limpio al interior de la botella con una bomba de bicicletas.





## RESPUESTAS

Respuestas para las preguntas que debe debatir el alumnado.

**1 Explica por qué hay que agitar la botella después de introducir el alcohol. Para facilitar que el alcohol se evapore.**

**2 La reacción fue acompañada de un zumbido. Explica a qué se debe ese sonido.**

El zumbido aparece cuando los gases de escape se ven obligados a salir con rapidez por la estrecha abertura de la botella. Esto sucede como consecuencia de la expansión del gas caliente dentro de la botella.

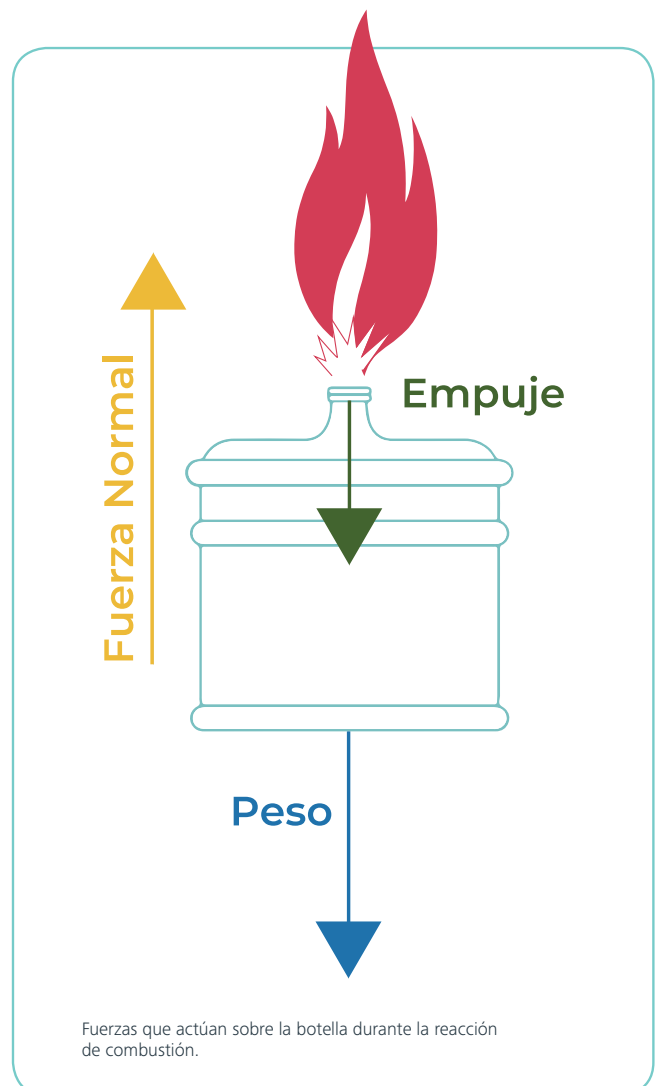
**3 Reflexiona sobre la tercera ley de Newton, identifica qué fuerzas actúan sobre la botella durante la reacción de combustión.**

Las tres fuerzas implicadas son:

- El peso de la botella
- La fuerza normal hacia arriba (ejercida por el suelo)
- El empuje producido por los gases de escape (dióxido de carbono y vapor de agua). Estos gases se expulsan hacia arriba y salen de la botella, por eso la tercera ley de Newton nos dice que la fuerza de reacción igual y opuesta que actúa sobre la botella se dirige hacia abajo, hacia el suelo.

**4 Dibuja un diagrama de fuerzas en el que se muestren las fuerzas que actúan sobre la botella durante la reacción de combustión.**

Fíjate en que la flecha correspondiente a la fuerza normal hacia arriba debería ser aproximadamente igual a la magnitud combinada de la flecha del peso y la flecha del empuje.



- 5 **Traza un diagrama de fuerzas en el que se muestren las fuerzas que actúan sobre un cohete en el momento de su lanzamiento, inmediatamente después de abandonar el suelo. Ignora la resistencia del aire.**

Fíjate en que la flecha del empuje debería ser mayor que la flecha del peso.

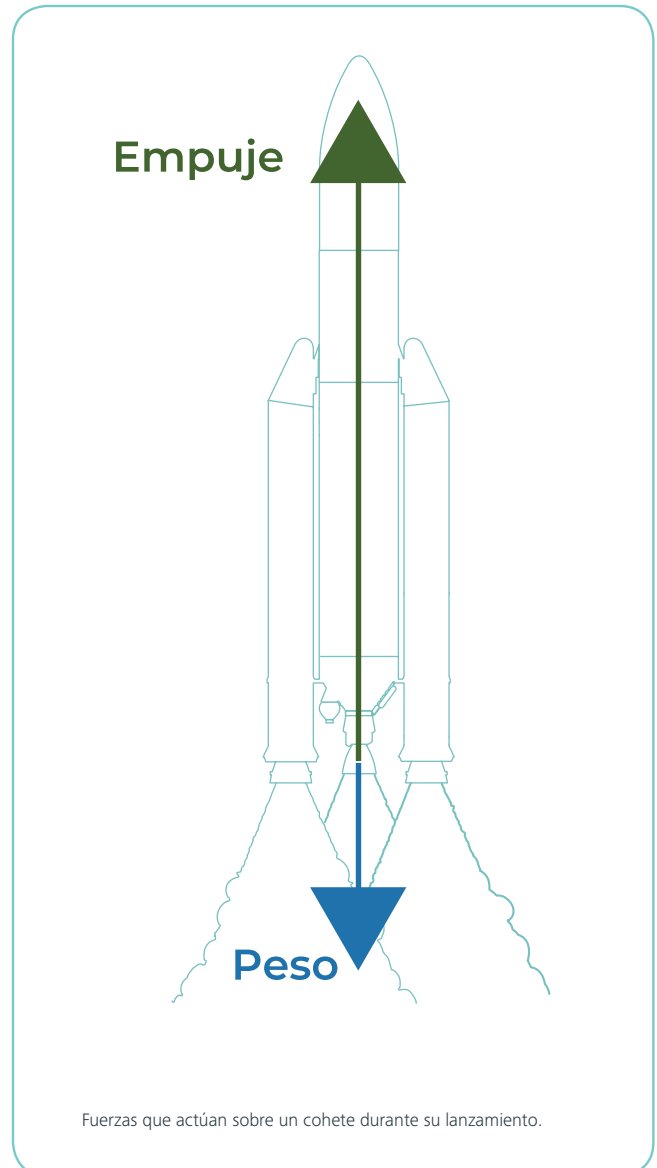
- 6 **Describe las similitudes y diferencias entre los dos diagramas que has dibujado.**

Las fuerzas son similares en cuanto a peso y empuje. Sin embargo, en la botella, el empuje que generan los gases de escape se dirige hacia abajo, hacia el suelo, mientras que en el cohete el empuje se dirige hacia arriba.

- 7 **Explica los efectos de las fuerzas en estos dos ejemplos (la botella a reacción y el cohete).**

En la práctica, la botella a reacción es una versión invertida del lanzamiento de un cohete. En este caso, los gases de escape producen una fuerza hacia abajo (empuje) debida a la tercera ley de Newton. Como la botella se encuentra apoyada en el suelo o sobre una mesa, este empuje actúa en realidad sobre toda la masa de la Tierra, lo que significa que no tendrá ningún efecto.

En el caso de un cohete, el empuje se dirige hacia arriba y actúa únicamente sobre la masa del cohete y, por tanto, le imprime una aceleración bastante elevada (primera y segunda leyes de Newton). A medida que el cohete se acelera a través de la baja atmósfera se producirá una resistencia aerodinámica considerable, sobre todo durante los dos o tres primeros minutos después del lanzamiento, cuando la velocidad es alta y la atmósfera aún es bastante densa. A partir de altitudes de 120 km la resistencia atmosférica se vuelve mínima. Aunque las fuerzas gravitatorias disminuyen con la distancia, nunca desaparecen por completo.





# A2

## Actividad 2

# Laplicación de la segunda ley de Newton a cohetes



20 min.

Ejercicios

-

Para lanzar un cohete al espacio tiene que haber suficiente empuje como para contrarrestar la gravedad. En esta actividad el alumnado aplicará la segunda ley de Newton a cohetes para calcular la cantidad de combustible que necesita un cohete para generar el empuje necesario para su lanzamiento.

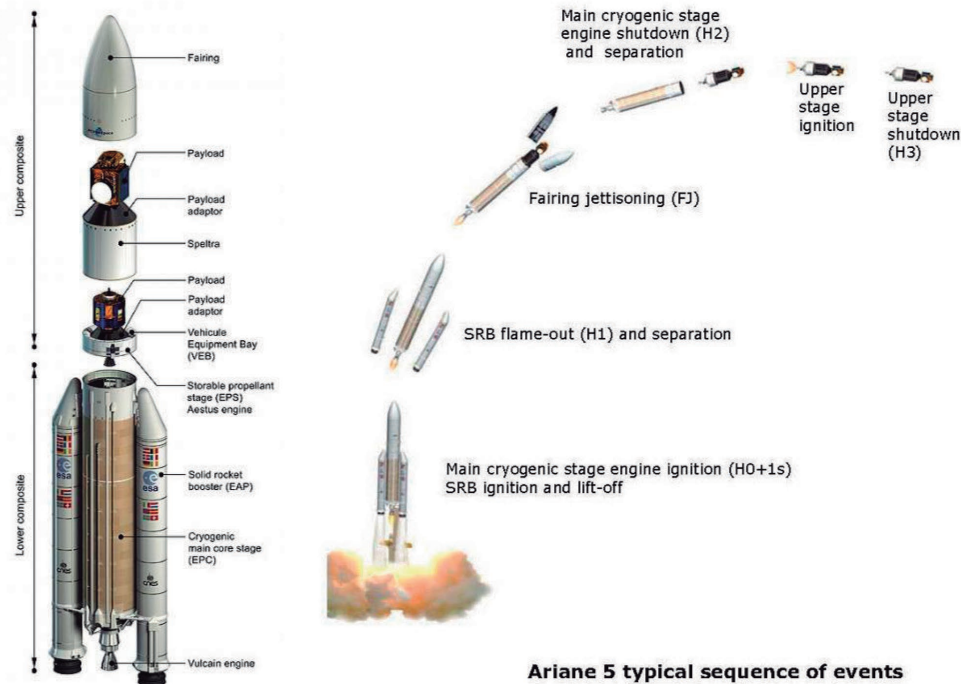
r

## RESPUESTAS DE LOS EJERCICIOS

- Un cohete Ariane 5 ECA se encuentra en la plataforma de lanzamiento de Kourou, Guayana Francesa. La parte inferior del Ariane 5 ECA está formada por la etapa principal de núcleo criogénico (EPC) y los dos aceleradores de propelente sólido (EAP) (véase la figura 4). El empuje que generan estos motores asciende a 960 kN en la etapa principal criogénica EPC, y a 6450 kN en cada uno de los dos aceleradores de propelente sólido unidos a ella. La masa total del cohete situado en la plataforma de lanzamiento es de 777 toneladas. Considera que la aceleración debida a la gravedad ( $g$ ) asciende a 9.8 N/kg o 9.8 m/s<sup>2</sup>.

  - Calcula la fuerza resultante que actúa sobre el cohete. Tal vez sea de utilidad dibujar un diagrama de fuerzas. Ignora la resistencia del aire.  
**Fuerza resultante sobre el cohete = 6.25 MN**
  - Calcula la aceleración del cohete en el momento del lanzamiento.  
**Aceleración = 8.04 m/s<sup>2</sup>**
- Supón que el cohete asciende en vertical durante los primeros veinte segundos. Cada acelerador EAP usa 1.8 toneladas de propelente por segundo y la etapa principal EPC utiliza 0.3 toneladas de propelente por segundo.

  - Calcula la masa del cohete después de 20 segundos y calcula su aceleración en ese momento.  
**Masa del cohete después de 20 segundos:**  
 $777\ 000\ \text{kg} - (2 \times 1.8\ \text{t} \times 1000\ \text{kg} \times 20\ \text{s}) - (0.3\ \text{t} \times 1000\ \text{kg} \times 20\ \text{s}) = 699\ 000\ \text{kg}$   
**Aceleración instantánea:**  
**Empuje = 13 860 000 kg m/s<sup>2</sup>**  
**Peso = 699 000 kg × 9.8 m/s<sup>2</sup> = 6 850 200 kg m/s<sup>2</sup>**  
**Fuerza resultante = 13 860 000 kg m/s<sup>2</sup> – 6 850 200 kg m/s<sup>2</sup> = 7 009 800 kg m/s<sup>2</sup>**  
**Aceleración = fuerza/masa = 10.03 m/s<sup>2</sup>**



Secuencia habitual del lanzamiento de un cohete Ariane 5.

- B** En realidad, la aceleración del cohete en este momento será diferente de la aceleración que has calculado. ¿Crees que el valor real será mayor o menor? Justifica tu respuesta. Un nuevo diagrama de fuerzas tal vez te ayude a resolver esto.

**A medida que el cohete se acelera a través de la atmósfera su velocidad aumenta y, en consecuencia, aumenta también el rozamiento atmosférico. Esto se debe a que la fuerza del rozamiento atmosférico es proporcional a la densidad del aire y también al cuadrado de la velocidad. Esto significa que a medida que aumenta la velocidad a través de la atmósfera, el rozamiento atmosférico es cada vez más relevante. Como resultado, después de 20 segundos de vuelo el efecto de la fuerza de rozamiento es que la fuerza resultante (empuje-rozamiento-peso) será inferior a la fuerza que resultaría si no hubiera rozamiento (empuje-peso) y, por tanto, la aceleración será menor que la que acabas de calcular. A medida que el cohete avance a través de la atmósfera la densidad del aire se reducirá progresivamente y al mismo tiempo aumentará la velocidad (y la aceleración) del cohete porque, además, el peso del cohete disminuye debido al agotamiento de los propelentes en los motores.**

- 3** El manual de instrucciones del Ariane 5 da dos valores para el empuje de la etapa principal EPC (la cual se mantiene en funcionamiento durante nueve minutos):

**960 kN al nivel del mar**

**1390 kN en el vacío**

Explica por qué difieren esas cantidades.

**El empuje que ejerce un motor cohete depende de la velocidad de los gases que expulsa la cámara de combustión. La diferencia de presión entre los gases en la cámara de combustión y la atmósfera exterior circundante es lo que impulsa los gases de escape hacia fuera de la cámara de combustión y genera el empuje. Esta diferencia será máxima en un entorno al vacío. Y esta es la razón por la que el empuje en el vacío siempre es mayor que el empuje al nivel del mar.**



## ACTIVIDAD 1

# ¡Arde, combustible, arde!

Los cohetes se utilizan desde hace siglos. Los primeros cohetes se usaron en China para producir fuegos de artificio casi 1000 años atrás. Hoy en día los cohetes tienen numerosas aplicaciones que incluyen llevar astronautas a la Estación Espacial Internacional, mandar sondas al espacio para explorar el Sistema Solar y lanzar satélites al espacio para situarlos en órbita alrededor de la Tierra. En esta actividad haremos que una mezcla de aire y alcohol entre en ignición dentro de una botella de plástico para emular lo que sucede durante la ignición del combustible en el lanzamiento de un cohete. Observarás una reacción rápida acompañada por un estruendoso «zumbido» y llamas, lo que ilustrará la gran cantidad de energía que liberan las reacciones de combustión.

## MATERIAL NECESARIO

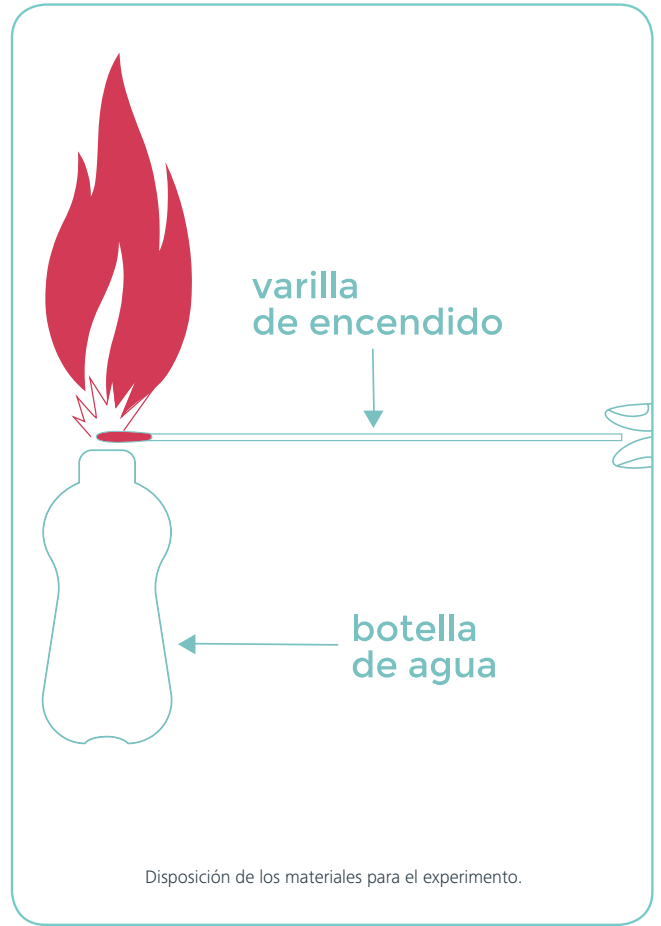
- 1 botella pequeña de plástico vacía y con tapón (como las que suelen usarse para envasar medio litro de agua)
- 1 ml de alcohol desnaturalizado o etanol (o cualquier otro combustible de tu elección)
- Gafas de seguridad
- 1 alfombrilla de aislamiento térmico
- Cerillas de madera largas (que solo usará el docente)

## SEGURIDAD

- El etanol (y cualquier otro alcohol en caso de usarse) es una sustancia muy inflamable. No lo uses en contacto directo con llamas.
- Asegúrate de que las sustancias químicas inflamables, incluidos todos los alcoholes, permanecen en recipientes cerrados mientras no los uses.
- Lleva puestas en todo momento las gafas de seguridad.
- Comprueba que las botellas no están deterioradas o dañadas. Si tienen alguna grieta, cámbialas por otras en buen estado.
- Sepárate de la parte superior de la botella de manera que tu cuerpo no esté inclinado sobre ella.
- Sigue las medidas generales de seguridad dentro del laboratorio.

**EJERCICIO**

- 1 Ponte las gafas de seguridad.
- 2 Retira el tapón de la botella de plástico y asegúrate de que está completamente seca.
- 3 Vierte en su interior 1 ml de combustible.
- 4 Vuelve a colocar el tapón y agita bien.
- 5 Si aún queda algo de combustible en el fondo de la botella, deséchalo en un lugar seguro y vuelve a poner el tapón.
- 6 Coloca la botella de pie sobre una mesa cubierta con la alfombrilla de aislamiento térmico y espera a que venga tu docente. Mantén la mesa siempre despejada.
- 7 Cuando el profesor esté presente, retira el tapón de la botella, apártate de ella y fíjate en lo que sucede cuando el profesor arrime la cerilla encendida a la boca de la botella.
- 8 Observa lo que ocurre; observa también lo que ocurre cuando prendan las botellas del resto del alumnado.



**PUESTA EN COMÚN**

- 1 Explica por qué hay que agitar la botella después de introducir en ella el alcohol.

.....

.....

.....

.....

- 2 La reacción fue acompañada por un zumbido. Explica de dónde salió ese sonido.

.....

.....

.....

.....



A1

pc

- 3** Piensa en la tercera ley de Newton e identifica qué fuerzas actúan sobre la botella durante la reacción de combustión.

.....

.....

.....

- 4** Dibuja un diagrama de fuerzas en el que aparezcan las fuerzas que actúan sobre la botella durante la reacción de combustión.

- 5** Dibuja un diagrama de fuerzas que ilustre las fuerzas que actúan sobre un cohete en el momento de su lanzamiento, inmediatamente antes de que abandone el suelo. Ignora la resistencia del aire.

- 6** Describe las similitudes y diferencias entre los dos diagramas que has trazado.

.....

.....

- 7** Explica los efectos de las fuerzas en ambos casos (la botella a reacción y el cohete).

.....

.....

### SABÍAS QUE...

El empuje sobre un cohete acelera toda su masa (carga útil, combustible, comburente y estructura del cohete). Para reducir la cantidad de masa extra que se transporta durante todo el viaje y, por tanto, aprovechar al máximo la aceleración, los cohetes suelen construirse en varias etapas. Por lo común, dos o más etapas se desprenderán de la nave (lo que reduce considerablemente la masa) una vez que hayan consumido todo el combustible para su motor. En el diagrama de la derecha se muestra Vega, el pequeño cohete de lanzamiento de la ESA. Vega cuenta con tres etapas impulsoras de combustible sólido y un módulo superior de propelente líquido para controlar el cohete cuando está en órbita.

## ACTIVIDAD 2

# Aplicación de la segunda ley de Newton a cohetes

Para lanzar un cohete al espacio tiene que haber suficiente empuje como para contrarrestar la gravedad. En esta actividad te convertirás en un científico o ingeniero espacial de la ESA. Aplicarás la segunda ley de Newton a cohetes con el fin de calcular la cantidad de combustible que necesita un cohete que logre generar el empuje necesario para su lanzamiento.

- 1 Un cohete Ariane 5 ECA se encuentra en la plataforma de lanzamiento de Kourou, Guayana Francesa. La sección inferior del Ariane 5 ECA está formada por la etapa principal de núcleo criogénico (EPC) y los dos aceleradores de propelente sólido (EAP) (véase la imagen de la página siguiente). El empuje que generan estos motores asciende a 960 kN en la etapa principal criogénica EPC, y a 6450 kN en cada uno de los dos aceleradores de propelente sólido unidos a ella. La masa total del cohete situado en la plataforma de lanzamiento es de 777 toneladas.

Considera que la aceleración debida a la gravedad ( $g$ ) asciende a  $9.8 \text{ N/kg}$  o  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

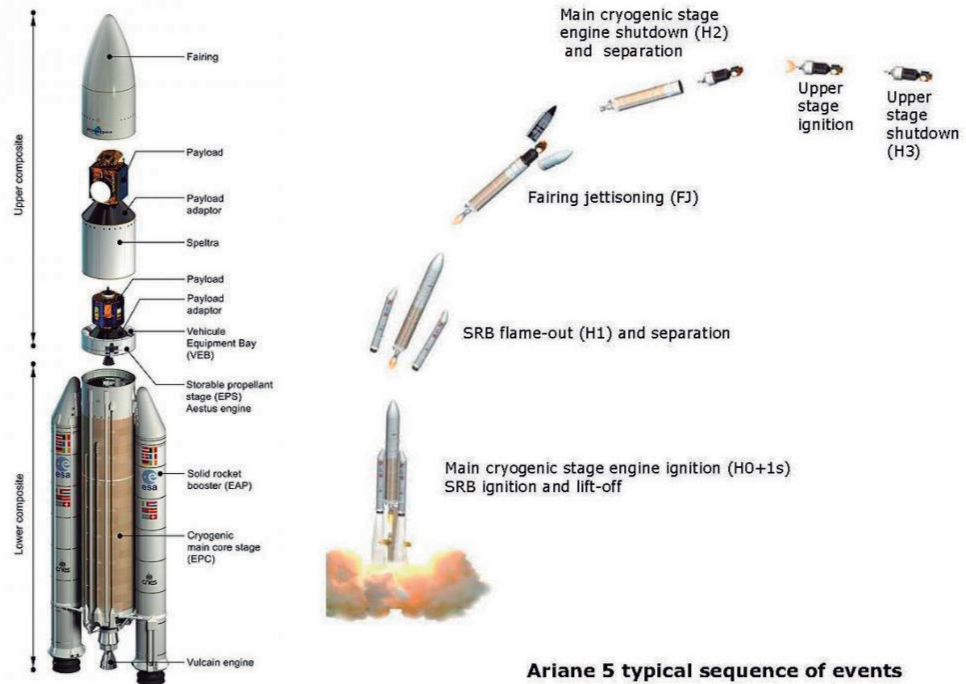


Lanzamiento del Ariane 5 en noviembre de 2019. John Kraus

e1

A2

e1



Secuencia habitual del lanzamiento de un cohete Ariane 5.

- A** Calcula la fuerza resultante que actúa sobre el cohete y su aceleración inicial. Tal vez te resulte útil trazar un diagrama de fuerzas. Ignora la resistencia del aire.

**Cálculo:**

- B** Calcula la aceleración del cohete en el momento del lanzamiento.

**Cálculo:**



2 Supón que el cohete asciende en vertical durante los primeros veinte segundos. Cada acelerador EAP usa 1.8 toneladas de propelente por segundo y la etapa principal EPC utiliza 0.3 toneladas de propelente por segundo. Ignora la resistencia del aire.

**A** Calcula la masa del cohete después de 20 segundos y, de ahí, calcula su aceleración en ese momento.

**Cálculo:**

**B** En realidad, la aceleración del cohete en este momento será diferente de la aceleración que has calculado. ¿Crees que el valor real será mayor o menor? Justifica tu respuesta. Un nuevo diagrama de fuerzas tal vez te ayude a resolver esto.

.....

.....

.....

.....

3 El manual de instrucciones del Ariane 5 da dos valores para el empuje de la etapa principal EPC (la cual se mantiene en funcionamiento durante nueve minutos):

**960 kN al nivel del mar**

**1390 kN en el vacío**

Explica por qué difieren esas cantidades.

.....

.....

.....

.....

.....

.....





# Enlaces de interés

## RECURSOS DE LA ESA

[Botella a reacción - Vídeo de demostración en clase \(VP01\)](#)

[https://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Whoosh\\_bottle\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VP01](https://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Whoosh_bottle_-_classroom_demonstration_video_VP01)

[Recurso relacionado: Minibotella a reacción](#)

[www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/Mini-whoosh\\_bottle\\_using\\_rockets\\_to\\_understand\\_combustion\\_reactions\\_Teach\\_with\\_space\\_c01](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Mini-whoosh_bottle_using_rockets_to_understand_combustion_reactions_Teach_with_space_c01)

[Cohetes de combustible sólido y líquido](#)

[www.esa.int/Education/Solid\\_and\\_liquid\\_fuel\\_rockets](http://www.esa.int/Education/Solid_and_liquid_fuel_rockets)

[Introducción a cohetes de ESA Kids:](#)

[www.esa.int/kids/es/Aprende/Tecnologia/Lanzadores/Cohetes\\_europeos](http://www.esa.int/kids/es/Aprende/Tecnologia/Lanzadores/Cohetes_europeos)

[Introducción al cohete Ariane 5](#)

[www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Launch\\_vehicles/Ariane\\_5](http://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Launch_vehicles/Ariane_5)

[Recursos de la ESA para utilizar en el aula](#)

[esa.int/Education/Classroom\\_resources](http://esa.int/Education/Classroom_resources)

## RECURSOS SOBRE EL ARIANE 5

[Información sobre el cohete Ariane 5](#)

[www.arianespace.com/vehicle/ariane-5/](http://www.arianespace.com/vehicle/ariane-5/)

[Entrada en Wikipedia sobre Ariane 5](#)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Ariane\\_5](https://es.wikipedia.org/wiki/Ariane_5)





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.



## Ingeniería de Astronaves

COLECCIÓN  
NAVES ESPACIALES EN ÓRBITA

### Incluye, entre otros:

Kit de materiales para naves espaciales  
Lanzamiento de cohetes  
La aleación perfecta  
3, 2, 1, ¡despegamos!  
Minibotella a reacción  
Botella a reacción

#### 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



IA-SB-04

**BOTELLA A REACCIÓN**

**CUADERNO DEL PROFESORADO  
SECUNDARIA Y BACHILLERATO**