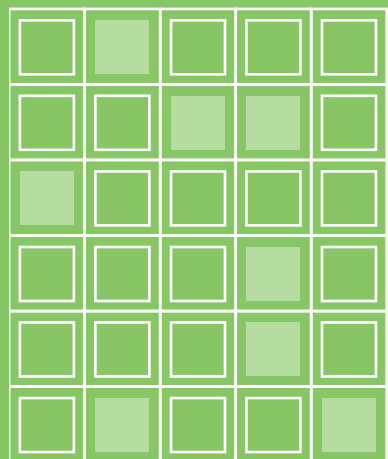
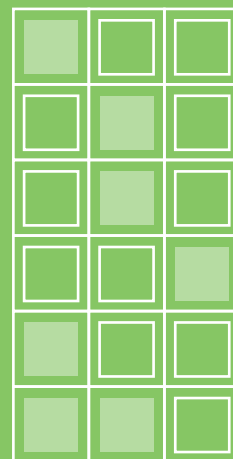


Bachillerato General Unificado



# FÍSICA



**1.º Curso**  
TEXTO DEL ESTUDIANTE

DISTRIBUCIÓN GRATUITA  
PROHIBIDA SU VENTA



Ministerio  
de Educación

*Transformar la educación*  
MISIÓN DE TODOS

# Física

## 1 BGU

# LNS



serie  
**Ingenios**

**ed**<sup>®</sup>  
EDITORIAL  
DON BOSCO

**edebé**

**PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA**  
Rafael Correa Delgado

**MINISTRO DE EDUCACIÓN**  
Augusto Espinosa Andrade

**VICEMINISTRO DE EDUCACIÓN**  
Freddy Peñafiel Larrea

**VICEMINISTRA DE GESTIÓN EDUCATIVA**  
Daysi Valentina Rivadeneira Zambrano

**SUBSECRETARIO DE FUNDAMENTOS EDUCATIVOS**  
Miguel Ángel Herrera Pavo

**SUBSECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
Mirian Maribel Guerrero Segovia

**DIRECTORA NACIONAL DE CURRÍCULO**  
María Cristina Espinosa Salas

**DIRECTORA NACIONAL DE OPERACIONES Y LOGÍSTICA**  
Ada Leonora Chamorro Vásquez

**EDITORIAL DON BOSCO**  
**OBRAS SALESIANAS DE COMUNICACIÓN**

Marcelo Mejía Morales  
**Gerente general**

Eder Acuña Reyes  
**Dirección editorial**

Eder Acuña Reyes  
**Adaptación y edición de contenidos**

Eder Acuña Reyes  
**Creación de contenidos nuevos**

Luis Felipe Sánchez  
**Coordinación de estilo**

Luis Felipe Sánchez  
**Revisión de estilo**

Pamela Cueva Villavicencio  
**Coordinación gráfica**

Pamela Cueva Villavicencio  
**Diagramación**

Darwin Parra O.  
**Ilustración**

Darwin Parra O.  
**Diseño de portada e ilustración**

**En alianza con**

**Grupo edebé**  
**Proyecto: Física 1**  
**Bachillerato**

Antonio Garrido González  
**Dirección general**

José Luis Gómez Cutillas  
**Dirección editorial**

María Banal Martínez  
**Dirección de edición**  
**de Educación Secundaria**

Santiago Centelles Cervera  
**Dirección pedagógica**

Juan López Navarro  
**Dirección de producción**

**Equipo de edición Grupo edebé**  
© grupo edebé, 2010  
Paseo San Juan Bosco, 62  
08017 Barcelona  
www.edebe.com



ISBN 978-9942-23-018-8  
Primera impresión: Agosto 2016  
Este libro fue evaluado por la Escuela Politécnica Nacional, y obtuvo su certificación curricular el 7 de septiembre de 2016.

© Ministerio de Educación del Ecuador, 2016  
Av. Amazonas N34-451 y Atahualpa  
Quito, Ecuador  
www.educacion.gob.ec

La reproducción parcial o total de esta publicación, en cualquier forma y por cualquier medio mecánico o electrónico, está permitida siempre y cuando sea autorizada por los editores y se cite correctamente la fuente.



#### ADVERTENCIA

Un objetivo manifiesto del Ministerio de Educación es combatir el sexismo y la discriminación de género en la sociedad ecuatoriana y promover, a través del sistema educativo, la equidad entre mujeres y hombres. Para alcanzar este objetivo, promovemos el uso de un lenguaje que no reproduzca esquemas sexistas, y de conformidad con esta práctica preferimos emplear en nuestros documentos oficiales palabras neutras, tales como las personas (en lugar de los hombres) o el profesorado (en lugar de los profesores), etc. Sólo en los casos en que tales expresiones no existan, se usará la forma masculina como genérica para hacer referencia tanto a las personas del sexo femenino como masculino. Esta práctica comunicativa, que es recomendada por la Real Academia Española en su Diccionario Panhispánico de Dudas, obedece a dos razones: (a) en español es posible <referirse a colectivos mixtos a través del género gramatical masculino>, y (b) es preferible aplicar <la ley lingüística de la economía expresiva> para así evitar el abultamiento gráfico y la consiguiente ilegibilidad que ocurriría en el caso de utilizar expresiones como las y los, os/as y otras fórmulas que buscan visibilizar la presencia de ambos sexos.



Ministerio  
de **Educación**



Este libro de texto que tienes en tus manos es una herramienta muy importante para que puedas desarrollar los aprendizajes de la mejor manera. Un libro de texto no debe ser la única fuente de investigación y de descubrimiento, pero siempre es un buen aliado que te permite descubrir por ti mismo la maravilla de aprender.

El Ministerio de Educación ha realizado un ajuste curricular que busca mejores oportunidades de aprendizaje para todos los estudiantes del país en el marco de un proyecto que propicia su desarrollo personal pleno y su integración en una sociedad guiada por los principios del Buen Vivir, la participación democrática y la convivencia armónica.

Para acompañar la puesta en marcha de este proyecto educativo, hemos preparado varios materiales acordes con la edad y los años de escolaridad. Los niños y niñas de primer grado recibirán un texto que integra cuentos y actividades apropiadas para su edad y que ayudarán a desarrollar el currículo integrador diseñado para este subnivel de la Educación General Básica. En adelante y hasta concluir el Bachillerato General Unificado, los estudiantes recibirán textos que contribuirán al desarrollo de los aprendizajes de las áreas de Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Lengua y Literatura, Matemática y Lengua Extranjera-Inglés.

Además, es importante que sepas que los docentes recibirán guías didácticas que les facilitarán enriquecer los procesos de enseñanza y aprendizaje a partir del contenido del texto de los estudiantes, permitiendo desarrollar los procesos de investigación y de aprendizaje más allá del aula.

Este material debe constituirse en un apoyo a procesos de enseñanza y aprendizaje que, para cumplir con su meta, han de ser guiados por los docentes y protagonizados por los estudiantes.

Esperamos que esta aventura del conocimiento sea un buen camino para alcanzar el Buen Vivir.

Ministerio de Educación

2016

## Presentación

*Física 1 BGU* ahora mismo es una página en blanco que, como tú, posee un infinito potencial.

Te presentamos **Ingenios**, el nuevo proyecto de Editorial Don Bosco que hemos diseñado para impulsar lo mejor de ti y que te acompañará en tu recorrido por el conocimiento.

### **Ingenios.**

- Fomenta un aprendizaje práctico y funcional que te ayudará a desarrollar destrezas con criterios de desempeño.
- Propone una educación abierta al mundo, que se integra en un entorno innovador y tecnológico.
- Apuesta por una educación que atiende a la diversidad.
- Refuerza la inteligencia emocional.
- Refleja los propósitos del Ministerio de Educación que están plasmados en el currículo nacional vigente.
- Deja aflorar la expresividad de tus retos.
- Incorpora **Edibosco Interactiva**, la llave de acceso a un mundo de recursos digitales, flexibles e integrados para que des forma a la educación del futuro.
- Es sensible a la justicia social para lograr un mundo mejor.

*Física 1 BGU* te presenta los contenidos de forma clara e interesante. Sus secciones te involucrarán en proyectos, reflexiones y actividades que te incentivarán a construir y fortalecer tu propio aprendizaje. Las ilustraciones, fotografías, enlaces a páginas web y demás propuestas pedagógicas facilitarán y clarificarán la adquisición de nuevos conocimientos.

Construye con **Ingenios** tus sueños.

## índice

### Herramientas matemáticas

### Contenidos



1. La simbología matemática (12)
2. Aritmética (13)
3. Álgebra (14 - 15)
4. Geometría y trigonometría (16 - 17)
5. Vectores (18 - 19)

# 1 unidad temática

## Movimiento

### Objetivos

- Comprender que el desarrollo de la Física está ligado a la historia de la humanidad y al avance de la civilización, y apreciar su contribución en el progreso socioeconómico, cultural y tecnológico de la sociedad.
- Comunicar información científica, utilizando el lenguaje oral y escrito con rigor conceptual e interpretar leyes, así como expresar argumentaciones y explicaciones en el ámbito de la Física.
- Comprender que la Física es un conjunto de teorías cuya validez ha tenido que comprobarse en cada caso, por medio de la experimentación.

### Contenidos



1. **¿Qué es el movimiento? (24 - 27)**
  - 1.1. Movimiento y reposo
  - 1.2. Posición y trayectoria
  - 1.3. Desplazamiento y distancia recorrida
2. **La rapidez en el cambio de posición (28 - 31)**
  - 2.1. Velocidad media y velocidad instantánea
  - 2.2. Movimiento rectilíneo uniforme
3. **Cambios de velocidad (32 - 41)**
  - 3.1. Aceleración
  - 3.2. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado
  - 3.3. Movimiento circular uniforme

# 2 unidad temática

## Fuerzas

### Objetivos

- Describir los fenómenos que aparecen en la naturaleza, analizar sus características más relevantes y las magnitudes que intervienen, progresar en el dominio de los conocimientos de Física, de menor a mayor profundidad, para aplicarla a las necesidades y potencialidades de nuestro país.
- Reconocer el carácter experimental de la Física, así como sus aportaciones al desarrollo humano a lo largo de la historia, comprendiendo las discrepancias que han superado los dogmas, y los avances científicos que han influido en la evolución cultural de la sociedad.

### Contenidos



1. **Las fuerzas y su equilibrio (56 - 61)**
  - 1.1. Tipos de fuerzas
  - 1.2. La fuerza como vector
  - 1.3. El peso de los cuerpos
  - 1.4. Ley de Hooke
  - 1.5. Composición de fuerzas
  - 1.6. Descomposición de fuerzas
  - 1.7. Equilibrio de fuerzas
2. **Las leyes de Newton (62 - 64)**
  - 2.1. Primera ley de Newton: ley de la inercia
  - 2.2. Segunda ley de Newton: ley fundamental de la dinámica
  - 2.3. Tercera ley de Newton: ley de acción y reacción
3. **Aplicaciones de las leyes de Newton (65 - 68)**
  - 3.1. Fuerza normal
  - 3.2. Fuerzas de rozamiento
  - 3.3. Dinámica del movimiento circular
4. **Fuerzas gravitatorias (69 - 75)**
  - 4.1. Modelos del universo
  - 4.2. Gravitación universal
  - 4.3. Movimiento de planetas y satélites uniformemente acelerado

## Electricidad y magnetismo

### Objetivos

- Comprender la importancia de aplicar los conocimientos de las leyes físicas para satisfacer los requerimientos del ser humano a nivel local y mundial, y plantear soluciones a los problemas locales y generales a los que se enfrenta la sociedad.
- Diseñar y construir dispositivos y aparatos que permitan comprobar y demostrar leyes físicas, aplicando los conceptos adquiridos a partir de las destrezas con criterios de desempeño.
- Comunicar resultados de experimentaciones realizadas, relacionados con fenómenos físicos, mediante informes estructurados, detallando la metodología utilizada, con la correcta expresión de las magnitudes medidas o calculadas.

### Contenidos



1. Naturaleza de la electricidad (94 - 97)
2. Fuerzas eléctricas (98 - 99)
3. Campo eléctrico (100 - 101)
4. Corriente eléctrica (102 - 103)
5. Componentes de un circuito eléctrico (104 - 105)
6. Magnitudes eléctricas (106 - 113)
7. Transformaciones de energía en un circuito (114 - 115)
8. Producción y transporte de la corriente eléctrica (116 - 117)
9. La electricidad en casa (118)
10. Magnetismo (119 - 122)

## Energía

### Objetivos

- Describir los fenómenos que aparecen en la naturaleza, analizando las características más relevantes y las magnitudes que intervienen, y progresar en el dominio de los conocimientos de Física, de menor a mayor profundidad, para aplicarlas a las necesidades y potencialidades de nuestro país.
- Integrar los conceptos y leyes de la Física, para comprender la ciencia, la tecnología y la sociedad, ligadas a la capacidad de inventar, innovar y dar soluciones a la crisis socio ambiental.

### Contenidos



1. La energía y sus propiedades (142 - 145)
  - 1.1. Formas de energía
  - 1.2. Conservación y degradación de la energía
  - 1.3. Trabajo
2. Las fuentes de energía (146 - 150)
  - 2.1. Fuentes de energía no renovables
  - 2.2. Fuentes de energía renovables
3. El uso sostenible de la energía (151)
  - 3.1. Ahorro energético
  - 3.2. Reciclaje
4. Máquinas mecánicas (152 - 153)
  - 4.1. Rendimiento de las máquinas mecánicas
  - 4.2. Reciclaje

## Energía térmica

### Objetivos

- Comprender que la Física es un conjunto de teorías cuya validez ha tenido que comprobarse en cada caso, por medio de la experimentación.
- Comprender la importancia de aplicar los conocimientos de las leyes físicas para satisfacer los requerimientos del ser humano a nivel local y mundial, y plantear soluciones a los problemas locales y generales a los que se enfrenta la sociedad.
- Usar las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como herramientas para la búsqueda crítica de información, el análisis y la comunicación de sus experiencias y conclusiones sobre los fenómenos y hechos naturales y sociales.

### Contenidos



1. **Energía interna (166 - 171)**
  - 1.1. Temperatura
  - 1.2. Calor
  - 1.3. Formas de transferencia del calor
2. **Efectos del calor (172 - 179)**
  - 2.1. Calor transferido con variación de la temperatura
  - 2.2. Valor del calor absorbido
  - 2.3. Equilibrio térmico
  - 2.4. Cambios de estado de agregación
3. **Intercambios de trabajo y calor (180 - 182)**
  - 3.1. Transformaciones de trabajo en calor. Equivalente mecánico del calor
  - 3.2. Experiencia de Joule
  - 3.3. Primer principio de la termodinámica
  - 3.4. Transformaciones de calor en trabajo: Máquinas térmicas
- 2.5. Dilatación térmica

## Ondas: el sonido y la luz

### Objetivos

- Comunicar información con contenido científico, utilizando el lenguaje oral y escrito con rigor conceptual, interpretar leyes, así como expresar argumentaciones y explicaciones en el ámbito de la Física.
- Diseñar y construir dispositivos y aparatos que permitan comprobar y demostrar leyes físicas, aplicando los conceptos adquiridos a partir de las destrezas con criterios de desempeño.
- Comunicar resultados de experimentaciones realizadas, relacionados con fenómenos físicos, mediante informes estructurados, en los que se detalla la metodología utilizada y la correcta expresión de las magnitudes medidas o calculadas.

### Contenidos



1. **Las ondas (196 - 197)**
  - 1.1. Clases de ondas
  - 1.2. Características de las ondas
2. **El sonido (198 - 203)**
  - 2.1. Naturaleza y propagación del sonido
  - 2.2. Cualidades del sonido
  - 2.3. Contaminación acústica
3. **La luz (204 - 210)**
  - 3.1. Naturaleza y propagación de la luz
  - 3.2. Fenómenos luminosos
  - 3.3. Aplicaciones de la reflexión y de la refracción de la luz
  - 3.5. Dispersión de la luz



# Destrezas con criterios de desempeño:

## Unidades

- Determinar la posición y el desplazamiento de un objeto (considerado puntual) que se mueve, a lo largo de una trayectoria rectilínea, en un sistema de referencia establecida y sistematizar información relacionada al cambio de posición en función del tiempo, como resultado de la observación de movimiento de un objeto y el empleo de tablas y gráficas.
- Explicar, por medio de la experimentación de un objeto y el análisis de tablas y gráficas, que el movimiento rectilíneo uniforme implica una velocidad constante.
- Analizar gráficamente que, en el caso particular de que la trayectoria sea un círculo, la aceleración normal se llama aceleración central (centrípeta) y determinar que en el movimiento circular solo se necesita el ángulo (medido en radianes) entre la posición del objeto y una dirección de referencia, mediante el análisis gráfico de un punto situado en un objeto que gira alrededor de un eje.
- Diferenciar, mediante el análisis de gráficos el movimiento circular uniforme (MCU) del movimiento circular uniformemente variado (MCUV), en función de la comprensión de las características y relaciones de las cuatro magnitudes de la cinemática del movimiento circular (posición angular, velocidad angular, aceleración angular y el tiempo).
- Resolver problemas de aplicación donde se relacionen las magnitudes angulares y las lineales.
- Indagar los estudios de Aristóteles, Galileo y Newton, para comparar sus experiencias frente a las razones por las que se mueven los objetos y despejar ideas preconcebidas sobre este fenómeno, con la finalidad de conceptualizar la primera ley de Newton (ley de la inercia) y determinar por medio de la experimentación que no se produce aceleración cuando las fuerzas están en equilibrio, por lo que un objeto continúa moviéndose con rapidez constante o permanece en reposo (primera ley de Newton o principio de inercia de Galileo).
- Explicar la segunda ley de Newton mediante la relación entre las magnitudes: aceleración y fuerza que actúan sobre un objeto y su masa, mediante experimentaciones formales o no formales.
- Explicar la tercera ley de Newton en aplicaciones reales.
- Reconocer que la fuerza es una magnitud de naturaleza vectorial, mediante la explicación gráfica de situaciones reales para resolver problemas donde se observen objetos en equilibrio u objetos acelerados.
- Reconocer que la velocidad es una información insuficiente y que lo fundamental es la vinculación de la masa del objeto con su velocidad a través de la cantidad de movimiento lineal, para comprender la ley de conservación de la cantidad de movimiento y demostrar analíticamente que el impulso de la fuerza que actúa sobre un objeto es igual a la variación de la cantidad de movimiento de ese objeto.
- Explicar que la fuerza es la variación de momento lineal en el transcurso del tiempo, mediante ejemplos reales, y determinar mediante la aplicación del teorema del impulso, la cantidad de movimiento y de la tercera ley de Newton que para un sistema aislado de dos cuerpos, no existe cambio en el tiempo de la cantidad de movimiento total del sistema.
- Explicar que la intensidad del campo gravitatorio de un planeta determina la fuerza del peso de un objeto de masa ( $m$ ), para establecer que el peso puede variar pero la masa es la misma.  
Explicar el fenómeno de la aceleración cuando un cuerpo que cae libremente alcanza su rapidez terminal, mediante el análisis del rozamiento con el aire.
- Describir el movimiento de proyectiles en la superficie de la Tierra, mediante la determinación de las coordenadas horizontal y vertical del objeto para cada instante del vuelo y de las relaciones entre sus magnitudes (velocidad, aceleración, tiempo); determinar el alcance horizontal y la altura máxima alcanzada por un proyectil y su relación con el ángulo de lanzamiento, a través del análisis del tiempo que se demora un objeto en seguir la trayectoria, que es el mismo que emplean sus proyecciones en los ejes.
- Determinar que la fuerza que ejerce un resorte es proporcional a la deformación que experimenta y está dirigida hacia la posición de equilibrio (ley de Hooke), mediante prácticas experimentales y el análisis de su modelo matemático y de la característica de cada resorte.
- Explicar que el movimiento circular uniforme requiere la aplicación de una fuerza constante dirigida hacia el centro del círculo, mediante la demostración analítica y/o experimental.
- Explicar que se detecta el origen de la carga eléctrica, partiendo de la comprensión de que esta reside en los constituyentes del átomo (electrones o protones) y que solo se detecta su presencia por los efectos entre ellas, comprobar la existencia de solo dos tipos de carga eléctrica a partir de mecanismos que permiten la identificación de fuerzas de atracción y repulsión entre objetos electrificados, en situaciones cotidianas y experimentar el proceso de carga por polarización electrostática, con materiales de uso cotidiano.
- Clasificar los diferentes materiales en conductores, semiconductores y aislantes, mediante el análisis de su capacidad, para conducir carga eléctrica.
- Explicar las propiedades de conductividad eléctrica de un metal en función del modelo del gas de electrones.
- Conceptualizar la ley de Coulomb en función de cuantificar con qué fuerza se atraen o se repelen las cargas eléctricas y determinar que esta fuerza electrostática también es de naturaleza vectorial.
- Conceptualizar la corriente eléctrica como la tasa a la cual fluyen las cargas a través de una superficie  $A$  de un conductor, mediante su expresión matemática y establecer que cuando se presenta un movimiento ordenado de cargas –corriente eléctrica– se transfiere energía desde la batería, la cual se puede transformar en calor, luz o en otra forma de energía.

	1	2	3	4	5	6
✓						
✓						
✓						
✓						
✓						
		✓				
		✓				
		✓				
		✓				
		✓				
		✓				
✓						
		✓				
		✓				
		✓				
		✓				
			✓			
			✓			
			✓			
			✓			
			✓			

## Unidades

- Describir la relación entre diferencia de potencial (voltaje), corriente y resistencia eléctrica, la ley de Ohm, mediante la comprobación de que la corriente en un conductor es proporcional al voltaje aplicado (donde R es la constante de proporcionalidad).
- Comprobar la ley de Ohm en circuitos sencillos a partir de la experimentación, analizar el funcionamiento de un circuito eléctrico sencillo y su simbología mediante la identificación de sus elementos constitutivos y la aplicación de dos de las grandes leyes de conservación (de la carga y de la energía) y explicar el calentamiento de Joule y su significado mediante la determinación de la potencia disipada en un circuito básico
- Comprobar que los imanes solo se atraen o repelen en función de concluir que existen dos polos magnéticos, explicar la acción a distancia de los polos magnéticos en los imanes, así como también los polos magnéticos del planeta y experimentar con las líneas de campo cerradas.
- Determinar experimentalmente que cuando un imán en barra se divide en dos trozos se obtienen dos imanes, cada uno con sus dos polos (norte y sur) y que aún no se ha observado monopolos magnéticos libres (solo un polo norte o uno sur), reconoce que las únicas fuentes de campos magnéticos son los materiales magnéticos y las corrientes eléctricas, explica su presencia en dispositivos de uso cotidiano.
- Explicar el funcionamiento del motor eléctrico por medio de la acción de fuerzas magnéticas sobre un objeto que lleva corriente ubicada en el interior de un campo magnético uniforme.
- Definir el trabajo mecánico a partir del análisis de la acción de una fuerza constante aplicada a un objeto que se desplaza en forma rectilínea, considerando solo el componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento.
- Demostrar analíticamente que la variación de la energía mecánica representa el trabajo realizado por un objeto, utilizando la segunda ley de Newton y las leyes de la cinemática y la conservación de la energía, a través de la resolución de problemas que involucren el análisis de sistemas conservativos donde solo fuerzas conservativas efectúan trabajo.
- Determinar el concepto de potencia mediante la comprensión del ritmo temporal con que ingresa o se retira energía de un sistema.
- Determinar que la temperatura de un sistema es la medida de la energía cinética promedio de sus partículas, haciendo una relación con el conocimiento de que la energía térmica de un sistema se debe al movimiento caótico de sus partículas y por tanto a su energía cinética.
- Describir el proceso de transferencia de calor entre y dentro de sistemas por conducción, convección y/o radiación, mediante prácticas de laboratorio.
- Analizar que la variación de la temperatura de una sustancia que no cambia de estado es proporcional a la cantidad de energía añadida o retirada de la sustancia y que la constante de proporcionalidad representa el recíproco de la capacidad calorífica de la sustancia.
- Explicar mediante la experimentación el equilibrio térmico usando los conceptos de calor específico, cambio de estado, calor latente, temperatura de equilibrio, en situaciones cotidianas.
- Reconocer que un sistema con energía térmica tiene la capacidad de realizar trabajo mecánico deduciendo que, cuando el trabajo termina, cambia la energía interna del sistema, a partir de la experimentación (máquinas térmicas).
- Reconocer mediante la experimentación de motores de combustión interna y eléctricos, que en sistemas mecánicos, las transferencias y transformaciones de la energía siempre causan pérdida de calor hacia el ambiente, reduciendo la energía utilizable, considerando que un sistema mecánico no puede ser ciento por ciento eficiente.
- Describir las relaciones de los elementos de la onda: amplitud, periodo y frecuencia, mediante su representación en diagramas que muestren el estado de las perturbaciones para diferentes instantes.
- Reconocer que las ondas se propagan con una velocidad que depende de las propiedades físicas del medio de propagación, en función de determinar que esta velocidad, en forma cinemática, se expresa como el producto de frecuencia por longitud de onda.
- Clasificar los tipos de onda (mecánica o no mecánica) que requieren o no de un medio elástico para su propagación, mediante el análisis de las características y el reconocimiento de que la única onda no mecánica conocida es la onda electromagnética, diferenciando entre ondas longitudinales y transversales con relación a la dirección de oscilación y la dirección de propagación.
- Explicar fenómenos relacionados con la reflexión y refracción, utilizando el modelo de onda mecánica (en resortes o cuerdas) y formación de imágenes en lentes y espejos, utilizando el modelo de rayos.
- Establecer la ley de gravitación universal de Newton y su explicación del sistema Copernicano y de las leyes de Kepler, para comprender el aporte de la misión geodésica francesa en el Ecuador, con el apoyo profesional de Don Pedro Vicente Maldonado en la confirmación de la ley de gravitación, identificando el problema de acción a distancia que plantea la ley de gravitación newtoniana y su explicación a través del concepto de campo gravitacional.
- Indagar sobre el cinturón de Kuiper y la nube de Oort, en función de reconocer que en el Sistema Solar y en sus límites existen otros elementos como asteroides, cometas y meteoritos.

1	2	3	4	5	6
		✓			
		✓			
		✓			
		✓			
	✓				
		✓			
		✓			
			✓		
			✓		
			✓		
			✓		
				✓	
				✓	
				✓	
				✓	
				✓	
				✓	
✓					
✓					

# El proyecto de Física 1

## Unidad 0

- Una unidad inicial para facilitar los nuevos aprendizajes.

## Para empezar

- Tu unidad arranca con noticias y temas que te involucran en los contenidos.

Activa tu conocimiento con el gráfico

## Contenidos

- Aprendemos física a través de actividades.

## Proyecto

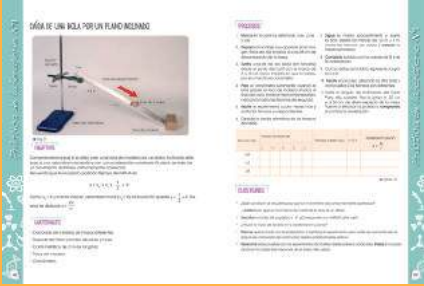
- Propuesta de actividades interdisciplinarias, que promueven el diálogo y el deseo de nuevos conocimientos.

## Ejercicios y problemas

## Un alto en el camino

- Y, además, se incluye una evaluación quimestral con preguntas de desarrollo y de base estructurada.

## Experimento



- Te convertirás en un joven físico.

## Zona Wifi



- Aprenderás la física en relación con la sociedad.



## Para finalizar



Evaluando tus destrezas con criterios de desempeño

## Autoevaluación

## Resumen



- Síntesis de lo aprendido

¿Qué significan estos íconos?



Conéctate con: **Edibosco**  
Interactiva

# O

# Herramientas matemáticas

## 1. La simbología matemática

La física describe las leyes que rigen el comportamiento de sistemas desde lo más grande (estrellas o galaxias) hasta lo más pequeño (átomos y partículas subatómicas). Como sabes, para cubrir un rango tan amplio de valores para las magnitudes físicas de forma práctica y evitar el uso de excesivas cifras, se utiliza la notación científica.

- Busca información y expresa, haciendo uso de la notación científica y en unidades del SI, el valor de: a) la constante de la gravitación universal,  $G$ ; b) el radio típico de un átomo; c) la carga del electrón; d) el número de Avogadro; e) la masa de la Tierra.
- Ordena, de mayor a menor, los valores numéricos anteriores.



## 2. Aritmética

Gracias a un conocido, tienes la posibilidad de presenciar un entrenamiento de la modalidad de Strongman. En un momento dado, el atleta empuja sobre el suelo sin rozamiento una plataforma de 250 kg de masa.

- La fuerza ejercida, ¿es un vector? ¿Por qué? ¿Qué efecto tiene la fuerza ejercida sobre la plataforma?
- Si la plataforma es acelerada en  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , halla la fuerza que aplica el atleta. ¿La aceleración es un vector? ¿Por qué?
- Un segundo atleta ayuda al primero a empujar la plataforma. Si lo hace con idéntica fuerza y en la misma dirección y sentido, ¿cuáles serán la fuerza y la aceleración resultantes?
- Y si el segundo atleta aplicara su fuerza de forma perpendicular al primero, ¿cuáles serán el valor y la dirección de la fuerza resultante?
- A continuación, el primer atleta levanta repetidas veces un barril de 150 kg de masa.

Determina qué fuerza debe hacer para mantener el barril en una posición fija por encima de su cabeza.

### 3. Álgebra

La resolución de muchos problemas requiere del planteamiento y la solución de ecuaciones.

- Hoy tienes clase de tenis. La máquina lanzabolas proyecta una pelota horizontalmente con una velocidad de  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  desde 1,5 m de altura sobre el suelo.
  - a. ¿Cuánto tiempo tardará la pelota en caer?
  - b. ¿Qué forma tiene su trayectoria? c. ¿A qué tipo de función matemática estaría asociada?
- Al terminar la clase, te llama un amigo desde un parque de atracciones en Orlando. Te comenta que la temperatura es de  $70 \text{ }^\circ\text{F}$ . ¿A qué valor en grados centígrados equivale?
- Una nueva y espectacular montaña rusa tiene una primera bajada de 85 m de altura. Como tu amigo duda si subir o no a la atracción, decide calcular con qué velocidad llegan las vagonetas a su punto más bajo. ¿Cuál es este valor de la velocidad si inician la caída con velocidad nula?

### 4. Geometría y trigonometría

En tu visita al Museo de la Ciencia, tienes la oportunidad de recorrer una exposición sobre longitudes, áreas y volúmenes. En ella, puedes conocer cómo ya en Egipto y, sobre todo, en Grecia se inició la ciencia de la medida y el estudio de la geometría, de gran importancia, por ejemplo, en la agricultura y, tras un repaso histórico, también en distintas aplicaciones cotidianas y actuales. En la exposición, se plantean distintas actividades:

- En el enlace <http://goo.gl/OVNPtY>, encontrarás una aplicación del teorema de Pitágoras para verificar las escuadras de una obra en construcción. Detalla cómo aplicarías la regla 3-4-5 (o 60-80-100) para saber si los ángulos de un cuarto de baño son rectos.
  - ¿Sabrías decir cómo se utiliza el teorema de Pitágoras para eliminar barreras arquitectónicas?
- Según el modelo atómico de Bohr, el electrón de un átomo de hidrógeno en su estado de menor energía describe una órbita circular alrededor del núcleo, de radio  $5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ . Halla la distancia que recorrerá el electrón después de dar cinco vueltas y media.

TIC



La página <http://goo.gl/c1nIUT> te ayudará a repasar, recordar y ampliar conceptos relacionados con la notación científica, pero también con el método científico, la magnitud y el error.

Y TAMBIÉN:



La notación científica permite representar números extremadamente grandes, como el número de Eddington, que es la cantidad de protones que hay en el universo: unos  $1,57 \cdot 10^{79}$

Hay otros números que reciben nombre propio: el gúgol (en inglés googol), término inventado por un niño de nueve años, representa la cantidad de  $10^{100}$ . El nombre del buscador Google viene de googol, ya que ambos términos se pronuncian igual en inglés.

# I. LA SIMBOLOGÍA MATEMÁTICA

Las matemáticas se expresan, frecuentemente, mediante un conjunto de símbolos matemáticos y de convenciones, como la notación científica.

- A continuación, puedes encontrar algunos de los **símbolos** más utilizados en las expresiones matemáticas:

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
$\pi$	número pi $\approx 3,141\ 592\ 6\dots$	$>$	mayor que
$\Delta x$	incremento de x	$\geq$	mayor o igual que
$\frac{d}{dt}$	derivada respecto del tiempo	$\gg$	mucho mayor que
$\infty$	infinito	$<$	menor que
$\propto$	proporcional a	$\leq$	menor o igual que
$=$	igual	$\ll$	mucho menor que
$\neq$	distinto	$\Sigma$	sumatorio
$\cong$	aproximadamente	$ \vec{v} $	módulo de un vector
$\equiv$	equivale a	$\Rightarrow$	implica
$\sqrt{\quad}$	raíz cuadrada	$\Leftrightarrow$	si y solo si
$\sqrt[3]{\quad}$	raíz cúbica	$\perp$	perpendicular

■ Símbolos más utilizados en expresiones matemáticas.

La **notación científica** se utiliza para facilitar la expresión de cantidades muy grandes o muy pequeñas, y los cálculos que se derivan de ellas. Los números se expresan mediante una parte entera de una cifra (diferente de cero), una parte decimal y una potencia de 10 de exponente entero.

Ejemplo 1

La distancia media entre la Tierra y el Sol es de 149 600 000 km, mientras que el diámetro de un electrón es del orden de 0,000 000 000 000 000 8 m. Expresa estas cantidades en notación científica.

**COMPRESIÓN.** En notación científica, expresamos las cantidades con una parte entera de una cifra, una parte decimal constituida por las cifras restantes y la potencia de 10 correspondiente.

**DATOS.** 149 600 000 km y 0,000 000 000 000 000 8 m.

**RESOLUCIÓN.** En el número 149 600 000, el exponente de la potencia de 10 viene determinado por las 3 cifras de la parte decimal y los 5 ceros les siguen:

$$149\ 600\ 000\ \text{km} = 1,496 \cdot 10^8\ \text{km}$$

En el número 0,000 000 000 000 000 8, la potencia correspondiente viene indicada por los 15 ceros que se encuentran delante del 8; es decir:

$$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 8\ \text{m} = 8 \cdot 10^{-16}\ \text{m}$$

**COMPROBACIÓN.** Si desplazamos la coma decimal tantos lugares como nos indican los exponentes (en el primer caso, 8 a la derecha y, en el segundo, 16 a la izquierda), recuperamos las expresiones originales.

## 2. ARITMÉTICA

Los números que podemos encontrar en cualquier expresión matemática pueden ser de distinta naturaleza. Cada tipo tiene sus características, que debes tener en cuenta a la hora de efectuar operaciones con ellos.

TIPO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
$\mathbb{N}$	Se usan para contar los elementos de un conjunto.	1, 2, 3...
$\mathbb{Z}$	Los números naturales, el cero y los negativos de los números naturales.	-2, 0, 4...
$\mathbb{Q}$	Pueden expresarse como una fracción formada por dos números enteros.	1/3, 45/8
$\mathbb{R}$	Conjunto de los números racionales y los números irracionales (con infinitas cifras decimales y no periódicos).	2/3, $\pi$ , $\sqrt{5}$

■ Tabla 2.

### 2.1. Operaciones con fracciones

Recuerda la suma, la resta, la multiplicación y la división de fracciones:

OPERACIÓN		FÓRMULA	EJEMPLO
Suma y resta	Mismo denominador	$\frac{a}{c} \pm \frac{b}{c} = \frac{a \pm b}{c}$	$\frac{3}{5} + \frac{6}{5} = \frac{9}{5}$
	Distinto denominador	$\frac{a}{c} \pm \frac{b}{d} = \frac{a \cdot d \pm b \cdot c}{c \cdot d}$	$\frac{4}{5} - \frac{2}{3} = \frac{4 \cdot 3 - 2 \cdot 5}{15} = \frac{2}{15}$
Multiplicación		$\frac{a}{c} \cdot \frac{b}{d} = \frac{a \cdot b}{c \cdot d}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{3}{2} = \frac{3}{8}$
División		$\frac{a}{c} : \frac{b}{d} = \frac{a \cdot d}{c \cdot b}$	$\frac{3}{4} : \frac{2}{5} = \frac{3 \cdot 5}{4 \cdot 2} = \frac{15}{8}$

■ Tabla 3.

### 2.2. Operaciones con potencias

Utiliza esta tabla para repasar las operaciones con potencias de la misma base:

OPERACIÓN	FÓRMULA	EJEMPLO
Multiplicación	$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$	$2^3 \cdot 2^4 = 2^7$
División	$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$	$\frac{3^5}{3^2} = 3^3$
Potencia	$(a^m)^n = a^{m \cdot n}$	$(4^2)^3 = 4^6$

■ Tabla 4.

TIC



Utiliza las siguientes herramientas para recordar, poner en práctica y autoevaluar las operaciones con fracciones:

**Visita:**

<http://goo.gl/ge9n4R>

<http://goo.gl/UOb00r>

Y TAMBIÉN:

El resultado de cualquier número elevado a 0 es siempre 1:

$$a^0 = 1$$

Ejemplo:  $84^0 = 1$

Las potencias de exponente negativo se pueden escribir como su inverso:

$$a^{-n} = 1/a^n$$

Ejemplo:  $4^{-5} = 1/4^5$

Y las de exponente fraccionario, como su raíz:

$$a^{1/n} = \sqrt[n]{a}$$

Ejemplo:  $8^{1/3} = \sqrt[3]{8}$



## Y TAMBIÉN:

Otro método para resolver sistemas de ecuaciones con dos incógnitas es el método de reducción. Para ello, debemos conseguir que una de las incógnitas tenga el mismo coeficiente en las dos ecuaciones, pero con signo contrario.

Intentemos resolver con este método el ejemplo 2 (el de los dos planetas). Tenemos las ecuaciones  $x = 2y$  y  $x + y = 1,6 \cdot 10^8$  km. Cambiamos el signo de la primera ecuación y sumamos las dos ecuaciones:

$$\begin{array}{r} -x = -2y \\ (+) x + y = 1,6 \cdot 10^8 \\ \hline -x + x + y = -2y + 1,6 \cdot 10^8 \end{array}$$

De esta forma, obtenemos una sola ecuación con una incógnita, que podemos resolver aislándola:

$$3y = 1,6 \cdot 10^8 \rightarrow y = 5,3 \cdot 10^7$$

A partir de aquí, es muy fácil encontrar la solución de la segunda incógnita.

## 3. ÁLGEBRA

Determinar el valor de una variable desconocida dentro de una expresión matemática es de gran utilidad para la resolución de problemas físicos. Repasa, en esta sección, cuáles son los métodos más utilizados para resolver ecuaciones.

### 3.1. Ecuaciones de primer grado con una incógnita

Las ecuaciones de primer grado con una incógnita siempre pueden expresarse de la forma:

$$ax + b = 0$$

Solo hay que aislar la variable correctamente para encontrar su solución.

### 3.2. Ecuaciones de primer grado con dos incógnitas

Las ecuaciones de primer grado con dos incógnitas pueden expresarse de la forma:

$$ax + by + c = 0$$

Para resolverlas, es necesario tener tantas ecuaciones como incógnitas, lo que conocemos como **sistema de ecuaciones**. Los dos métodos más utilizados para resolverlos son la **sustitución** y la **igualación**. Veámoslo mediante un ejemplo.

### Ejemplo 2

Un planeta se encuentra al doble de distancia que otro del Sol, y la suma de sus dos distancias es aproximadamente de  $1,6 \cdot 10^8$  km. ¿A qué distancia del Sol se hallan los dos planetas?

**COMPRESIÓN.** Se trata de plantear y resolver un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas,  $x$  e  $y$ , que son las distancias del primer y del segundo planeta respecto del Sol.

**DATOS.** Una distancia es el doble de la otra. La suma de las dos distancias es igual a  $1,6 \cdot 10^8$  km.

**RESOLUCIÓN.** De los datos del enunciado, planteamos las siguientes ecuaciones:

$$\left. \begin{array}{l} x = 2y \\ x + y = 1,6 \cdot 10^8 \end{array} \right\}$$

- Podemos resolver el sistema por sustitución; sustituimos la variable  $x$  de la primera ecuación en la segunda, de manera que obtenemos:

$$\begin{aligned} 2y + y &= 1,6 \cdot 10^8 \rightarrow 3y = 1,6 \cdot 10^8 \rightarrow y = 5,3 \cdot 10^7 \text{ km} \\ x &= 2y = 2 \cdot 5,3 \cdot 10^7 \text{ km} = 1,1 \cdot 10^8 \text{ km} \end{aligned}$$

- O bien por igualación; aislamos la misma variable de las dos ecuaciones e igualamos:

$$\left. \begin{array}{l} x = 2y \\ x + y = 1,6 \cdot 10^8 \rightarrow x = 1,6 \cdot 10^8 - y \end{array} \right\} \rightarrow$$

$$\rightarrow 2y = 1,6 \cdot 10^8 - y \rightarrow 3y = 1,6 \cdot 10^8 \rightarrow y = 5,3 \cdot 10^7 \text{ km}$$

Y, por lo tanto,  $x = 2y = 2 \cdot 5,3 \cdot 10^7 \text{ km} = 1,1 \cdot 10^8 \text{ km}$

**COMPROBACIÓN.** Si sustituimos las soluciones encontradas para  $x$  e  $y$  en las dos ecuaciones, veremos que ambas se cumplen.

También podemos observar que las soluciones son las mismas, tanto por el método de sustitución como por el de igualación.

### 3.3. Ecuaciones de segundo grado

Las ecuaciones de segundo grado o ecuaciones cuadráticas con una incógnita son ecuaciones de la forma:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

y sus dos soluciones o raíces se encuentran a partir de la **fórmula cuadrática**:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

### 3.4. Rectas y parábolas

A menudo, te interesará representar la relación que guardan dos magnitudes físicas (como la posición y el tiempo o la fuerza y la aceleración, por ejemplo).

Cuando la relación entre dos magnitudes o variables  $x$  e  $y$  sea de la forma  $y = mx + n$ , la representación será una **recta**, donde  $m$  es su **pendiente** y  $n$  es la **ordenada en el origen**.

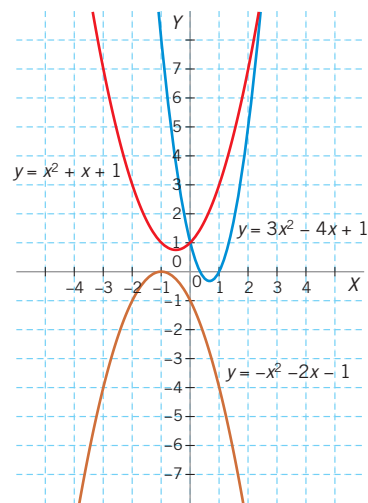
Cuando la relación entre ambas sea de la forma  $y = ax^2 + bx + c$ , la representación será una **parábola** de eje paralelo a alguno de los ejes de coordenadas. Esta es la curva que describe cualquier objeto cuando se lanza: un proyectil, una piedra, etc.

En la figura del margen, puedes ver algunos ejemplos de funciones parabólicas representadas gráficamente.

#### Y TAMBIÉN:

La ecuación de la recta es  $ax + b = y$ , que, cuando  $y = 0$ , no es más que la ecuación de primer grado con una incógnita; es decir:  $ax + b = 0$ . Así pues, la solución de esta ecuación nos indica el punto de corte de la recta con el eje de las abscisas (eje  $X$ ), ya que en este punto  $y = 0$ .

Del mismo modo, la ecuación de segundo grado es una parábola,  $ax^2 + bx + c = y$ , con  $y = 0$ . Así pues, las soluciones de esta ecuación nos indican los puntos de corte de la parábola con el eje de las abscisas.



#### Ejemplo 3

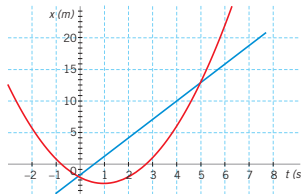
Carmen e Iván juegan con sus autos teledirigidos, que se mueven de forma que las posiciones (en m) respecto del tiempo (en s) verifican las ecuaciones  $x = 3t - 2$  y  $x = t^2 - 2t - 2$ . Representa gráficamente ambas funciones y determina para qué valores de  $t$  coinciden sus posiciones.

**COMPRENSIÓN.** Para representar las gráficas de posición respecto del tiempo, hemos de dar valores a la variable  $t$  y, a partir de ellos, determinar los valores de  $x$ . Los puntos de intersección entre las dos gráficas serán aquellos en los que las posiciones de ambos autos coincidan; es decir,  $x = 3t - 2 = t^2 - 2t - 2$ .

**DATOS.**  $x_1 = 3t - 2$ ;  $x_2 = t^2 - 2t - 2$ .

**RESOLUCIÓN.** Calculamos y representamos los pares de valores de  $x$  y  $t$ , para obtener las gráficas de posición respecto del tiempo. Se trata de una recta y una parábola:

t(s)	0	2	4	6	8
$x_1$	-2	4	10	16	22
$x_2$	-2	-2	6	22	46



Determinamos los valores de  $t$  para los que coinciden las posiciones de ambos autos:

$$x = 3t - 2 = t^2 - 2t - 2; t^2 - 5t = 0; t(t - 5) = 0$$

Ecuación cuyas soluciones son  $t = 0$ s y  $t = 5$  s. Así pues, al sustituir estos valores, vemos que la recta y la parábola se cruzan en los puntos  $(0, -2)$  y  $(5, 13)$ . Valores que coinciden con los de la intersección de las gráficas.

#### TEN EN CUENTA QUE:

**Raíz.** Solución de la ecuación.  
**Recta.** Función lineal de primer grado representada como  $y = mx + n$ .

**Pendiente de una recta.** Inclination de la recta respecto al eje  $X$ . En una gráfica posición-tiempo, esta corresponde a la velocidad del objeto en movimiento.

**Ordenada en el origen.** Punto de intersección de la recta con el eje  $Y$ ; es decir, el punto  $(0, n)$ .

**Parábola.** Función cuadrática, generalmente, de la forma  $y = ax^2 + bx + c$ .

**Eje de una parábola.** Eje de simetría de la parábola.

# 4. GEOMETRÍA Y TRIGONOMETRÍA

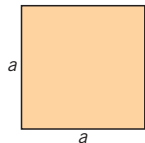
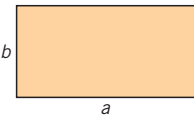
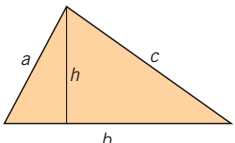
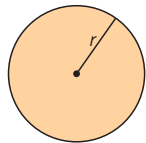
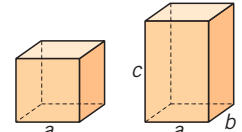
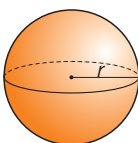
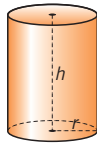
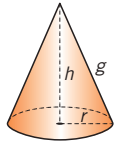
## Y TAMBIÉN:

Los perímetros tienen dimensiones de longitud, las áreas de longitud al cuadrado y los volúmenes de longitud al cubo.

En numerosas ocasiones, es necesario conocer aspectos técnicos relacionados con las dimensiones de distintos objetos, y, para ello, hacemos uso de la geometría y la trigonometría.

### 4.1. Perímetros, áreas y volúmenes

Son muchas las formas y las figuras geométricas que podemos encontrar en el mundo real. Sin ir más lejos, la Tierra suele aproximarse a una esfera, y nos puede resultar útil calcular su superficie y su volumen. A continuación, mostramos una tabla con las figuras más habituales y sus respectivos perímetros (en el caso de las figuras planas), áreas y volúmenes (para las figuras tridimensionales).

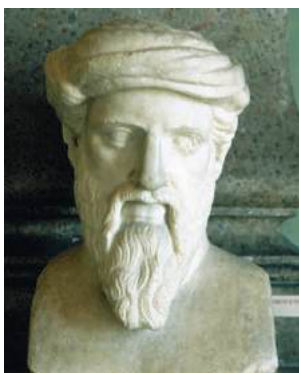
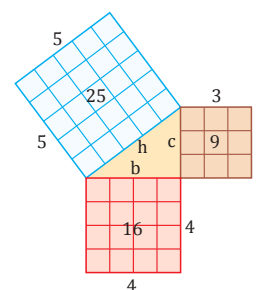
Perímetro y área de figuras planas	<b>Cuadrado</b> 	<b>Rectángulo</b> 	<b>Triángulo</b> 	<b>Círculo</b> 
	$P = 4a$ $A = a^2$	$P = 2a + 2b$ $A = ab$	$P = a + b + c$ $A = bh / 2$	$P = 2\pi r$ $A = \pi r^2$
Área y volumen de figuras tridimensionales	<b>Cubo/Prisma rectangular</b> 	<b>Esfera</b> 	<b>Cilindro</b> 	<b>Cono</b> 
	$A = 6a^2; A = 2(ab + bc + ac)$ $V = a^3; V = a b c$	$A = 4\pi r^2$ $V = 4\pi r^3 / 3$	$A = 2\pi r (h + r)$ $V = \pi r^2 h$	$A = \pi r (r + g)$ $V = \pi r^2 h / 3$

■ Tabla 5.

### 4.2. Teorema de Pitágoras

Los triángulos rectángulos son aquellos que contienen un ángulo recto; es decir, un ángulo de  $90^\circ$ . Los lados de este ángulo de  $90^\circ$  se llaman catetos, mientras que el tercer lado recibe el nombre de hipotenusa.

El teorema de Pitágoras establece que la suma de los cuadrados de los dos catetos es igual al cuadrado de la hipotenusa:  $a^2 + b^2 = h^2$ . Es fácil demostrar el teorema de Pitágoras, representando los cuadrados asociados a sus tres lados y sumando sus áreas.



<http://goo.gl/iXfPIX>  
 Pitágoras de Samos (Grecia, 580 a. C. - Italia, 520 a. C.), filósofo y matemático, es considerado el primer matemático puro.

### 4.3. Funciones trigonométricas

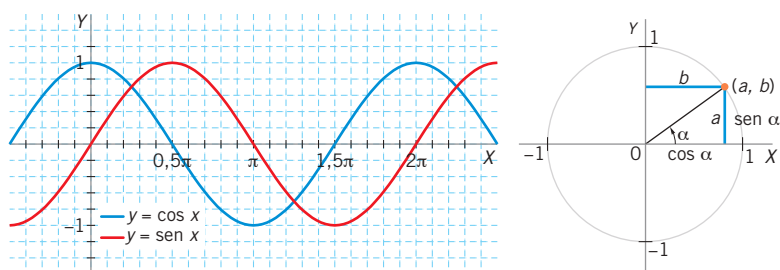
Las funciones trigonométricas son de gran utilidad en física, especialmente, para la representación de fenómenos periódicos (movimiento ondulatorio, movimiento armónico...).

Dado un triángulo rectángulo, se pueden representar las funciones trigonométricas básicas, seno y coseno, como el cociente de dos de sus lados.

El **seno** de un ángulo  $\theta$  es el cociente entre el cateto opuesto al ángulo y la hipotenusa.

El **coseno** de un ángulo  $\theta$  es el cociente entre el cateto contiguo o adyacente al ángulo y la hipotenusa.

Ambas funciones toman valores entre -1 y 1, y se pueden representar gráficamente en función del valor del ángulo, sobre dos ejes de coordenadas o sobre una circunferencia de radio unidad.



#### Relaciones entre las funciones trigonométricas

Existen otras funciones trigonométricas que pueden obtenerse a partir de las dos funciones básicas seno y coseno. Además, a menudo nos interesará representar una función trigonométrica en función de otra, para simplificar cálculos. A continuación, se muestran algunas de las relaciones trigonométricas más comunes.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta &= \operatorname{sen} \theta / \operatorname{cos} \theta & \operatorname{sen}^2 \theta + \operatorname{cos}^2 \theta &= 1 \\ \operatorname{sen} \left( \theta + \frac{\pi}{2} \right) &= \operatorname{cos} \theta & \operatorname{cos} \left( \theta + \frac{\pi}{2} \right) &= -\operatorname{sen} \theta \end{aligned}$$

#### CALCULADORA



Con la ayuda de la calculadora, podrás obtener las funciones trigonométricas de cualquier ángulo. La siguiente tabla muestra los valores más característicos:

$\theta$ (grad.)	$\theta$ (rad.)	sen $\theta$	cos $\theta$	tg $\theta$
0°	0	0	1	0
30°	$\pi/6$	1/2	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{3}/3$
45°	$\pi/4$	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	1
60°	$\pi/3$	$\sqrt{3}/2$	1/2	$\sqrt{3}/2$
90°	$\pi/2$	1	0	-
180°	$\pi$	0	-1	0

■ Tabla 6.

Asimismo, podrás conocer el ángulo a partir del valor de una función trigonométrica. Basta con utilizar los botones  $\operatorname{sen}^{-1}$ ,  $\operatorname{cos}^{-1}$  y  $\operatorname{tg}^{-1}$ , dadas las funciones seno, coseno y tangente, respectivamente.

#### Ejemplo 4

El Sol se encuentra a una inclinación de  $60^\circ$  respecto al suelo. Si mides 1,70 m, ¿qué longitud tendrá tu sombra?

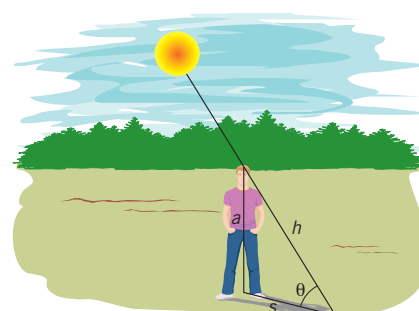
**COMPRESIÓN.** Tu cuerpo y su sombra determinan un triángulo rectángulo, como muestra la figura en el margen.

**DATOS.**  $\theta = 60^\circ$ ; cateto opuesto =  $a = 1,70$  m.

**RESOLUCIÓN.** Utilizamos las funciones trigonométricas para hallar la longitud de la sombra,  $s$ .

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{a}{s}; s = \frac{a}{\operatorname{tg} \theta} = \frac{1,70 \text{ m}}{\operatorname{tg} 60^\circ} = 0,98 \text{ m}$$

**COMPROBACIÓN.** Puedes calcular la longitud de la sombra para diferentes ángulos, y verás que a medida que el Sol sube (y el ángulo crece), la longitud disminuye, y viceversa. Cuando el Sol esté encima de nuestra cabeza (ángulo de  $90^\circ$ ) no habrá sombra.



Prohibida su reproducción

## TEN EN CUENTA QUE:



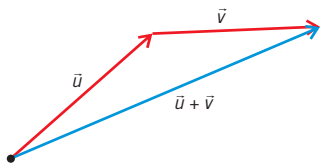
El módulo de un vector se calcula como la raíz cuadrada de la suma de sus componentes al cuadrado:

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}$$

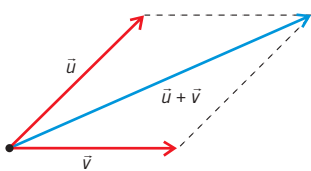
## Y TAMBIÉN:



Sumamos dos vectores, representándolos de tal forma que el origen del segundo coincida con el extremo del primero, y trazamos el vector resultante que vaya del origen del primero al extremo del segundo.

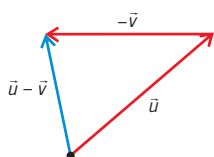


Este procedimiento es equivalente al de la regla del paralelogramo: representamos los dos vectores con un origen común, trazamos los dos mismos vectores, empezando en el extremo del otro vector, y obtenemos un paralelogramo cuya diagonal es el vector resultante de la suma.



También podemos restar vectores mediante su representación gráfica.

Para ello, operamos de la misma forma que en la suma, teniendo en cuenta que ahora el vector que restamos irá en el sentido opuesto.



# 5. VECTORES

Los vectores son utilizados en disciplinas científicas como la física para representar magnitudes para las que se debe especificar una dirección y un sentido (desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza...).

## 5.1. Magnitudes vectoriales

Como ya sabes, una magnitud física es una propiedad de un sistema físico que puede ser medible. Cuando estas magnitudes llevan asociada una dirección concreta, hablamos de magnitudes vectoriales; en el plano se representan como vectores con dos componentes y en el espacio como vectores con tres componentes.

Si, por el contrario, las magnitudes físicas se representan únicamente con una cantidad que no tiene una dirección determinada, como la masa o la temperatura, hablamos de magnitudes escalares.

La posición es una magnitud vectorial. Para definirla en un espacio tridimensional, se debe representar con las tres componentes espaciales:  $r = (x, y, z)$ . Otros ejemplos de magnitudes vectoriales son la velocidad,  $v = (v_x, v_y, v_z)$ , y la fuerza,  $F = (F_x, F_y, F_z)$ .

## 5.2. Operaciones con vectores

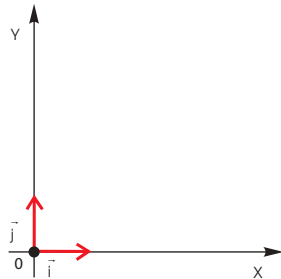
Al igual que con las otras magnitudes, podemos efectuar operaciones con magnitudes vectoriales. A continuación, recordaremos la suma, la resta, el producto de un vector por un escalar y el producto escalar de vectores.

- Suma de vectores. Es el vector cuyas componentes resultan de sumar las primeras, segundas... componentes de cada vector:  
si  $\vec{u} = (u_1, u_2)$  y  $\vec{v} = (v_1, v_2)$ , entonces  $u + v = (u_1 + v_1, u_2 + v_2)$ .
- Resta de vectores. Es el vector cuyas componentes resultan de restar las primeras, segundas... componentes de cada vector: si  
 $\vec{u} = (u_1, u_2)$  y  $\vec{v} = (v_1, v_2)$ , entonces  $\vec{u} - \vec{v} = (u_1 - v_1, u_2 - v_2)$ .
- Producto de un vector por un escalar. Da como resultado un vector de la misma dirección que el primero, pero con diferente módulo, según la magnitud del escalar:  
si  $\vec{v} = (v_1, v_2)$ , entonces  $k\vec{v} = (kv_1, kv_2)$ .
- Producto escalar de vectores. Da como resultado un escalar que se determina mediante el producto de las primeras componentes de cada vector más el producto de las segundas:  $\vec{u} \cdot \vec{v} = u_1 \cdot v_1 + u_2 \cdot v_2$ .

### 5.3. Relación con los sistemas de referencia

Un sistema de referencia es una convención que nos permite situar un objeto en el espacio y el tiempo, asignándole unas coordenadas. En el plano, de forma generalizada, un sistema de referencia está formado por un punto fijo,  $O$ , y una base de dos vectores (llamados vectores base).

Lo más común y práctico es usar como base de vectores los que se encuentren sobre los ejes de coordenadas cartesianos y que tengan módulo unidad. Estos vectores se representan con las letras  $\vec{i}$ , si está situado sobre el eje  $X$ , y  $\vec{j}$ , si lo está sobre el eje  $Y$ . En el espacio tridimensional, se usa también el vector  $\vec{k}$  sobre el eje  $Z$ .



Igual que dos vectores pueden sumarse, obteniéndose un vector resultante, un vector  $\vec{A}$  también puede descomponerse según los ejes. Obtendremos entonces las componentes de  $\vec{A}$  ( $A_x, A_y, A_z$ ), también conocidas como **proyecciones sobre los ejes del sistema de referencia**. Las coordenadas de un punto en un sistema de referencia son las componentes del vector de posición del punto en este sistema.

#### TEN EN CUENTA QUE:



**Origen (O).** Punto de referencia del sistema, a partir del cual se toman las medidas.

**Base.** Conjunto de vectores que constituyen el sistema de referencia.

**Vector unitario.** Vector de módulo 1.

**Sistema de referencia ortogonal.** Sistema con vectores base perpendiculares entre sí.

**Sistema de referencia ortonormal.** Sistema con vectores base perpendiculares y unitarios.

**Eje de abscisas.** En el plano, eje de coordenadas cartesianas horizontal. También se denomina eje  $OX$ .

**Eje de ordenadas.** En el plano, eje de coordenadas cartesianas vertical. También se denomina eje  $OY$ .

#### Ejemplo 5

Una vez terminada la compra por los establecimientos del barrio, Pedro tira del carro con una fuerza de módulo 100 N y forma un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal. **Calcula** las componentes horizontal y vertical de la fuerza.

**COMPRENSIÓN.** Si escogemos como sistema de referencia un sistema ortonormal en el que los vectores de la base se encuentren sobre los ejes de coordenadas cartesianas  $OX$  y  $OY$ , las componentes horizontal y vertical de la fuerza serán sus proyecciones sobre ambos ejes.

**DATOS.**  $|\vec{F}| = F = 100 \text{ N}; \alpha = 30^\circ$ .

**RESOLUCIÓN.** Calculamos las proyecciones sobre los ejes:

$$F_x = F \cos \alpha = 100 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ = 86,6 \text{ N}$$

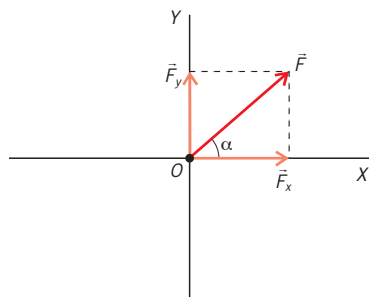
$$F_y = F \sin \alpha = 100 \text{ N} \cdot \sin 30^\circ = 50,0 \text{ N}$$

Por lo tanto, las componentes del vector serán  $\vec{F} = (86,6, 50,0) \text{ N}$

**COMPROBACIÓN.** Fíjate en que el vector y sus proyecciones forman un triángulo rectángulo.

Podemos aplicar el teorema de Pitágoras y ver que:

$$F_x^2 + F_y^2 = 86,6^2 + 50,0^2 = 1,00 \cdot 10^4 = F^2$$



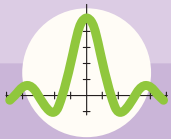
#### TIC



En Internet, existen multitud de utilidades (y cada día aparecen nuevas) que te permiten hacer uso de las herramientas matemáticas, vistas en la unidad en la resolución de problemas. No dudes en aprovecharlas.

Por ejemplo:

- Fooplot es una herramienta para la representación y el análisis de funciones: <http://fooplot.com>
- Microsoft Mathematic es una herramienta educativa para resolver cálculos y gráficos de todo tipo: <http://goo.gl/gAx18H>



# Ejercicios y problemas

## 1 LA SIMBOLOGÍA MATEMÁTICA

- Di cuál es el valor correcto en notación científica de 0,000 068 4 m:
  - $68,4 \cdot 10^{-6}$  m
  - $6,84 \cdot 10^{-5}$  m
  - $68,4 \mu\text{m}$
- Busca el origen etimológico del número  $\pi$  y, si dispones de un blog, publica en él el resultado de tus indagaciones.
- El radio de la Tierra es  $R_T = 6,37 \cdot 10^6$  m. Suponiendo que esta es totalmente esférica, ¿cuál es el valor de su superficie? **Expresa** el resultado en  $\text{km}^2$ , utilizando la notación científica y aproximando la solución con dos decimales.

## 2 ARITMÉTICA

- Los átomos, según sea su configuración electrónica, pueden contener como máximo  $2n^2$  electrones en cada nivel de energía, donde  $n = 1, 2, 3, \dots$  indica el nivel. **Calcula** cuántos electrones pueden albergar los niveles  $n = 2$  y  $n = 4$ .
- Clasifica** los siguientes números según su tipo (naturales, enteros, racionales o reales):
 

a. 2	d. $\log 8$	g. $-2/3$ .
b. $p$	e. 3	
c. -3	f. $8/4$	
- Efectúa** las siguientes operaciones y di qué tipo de número es el valor resultante:
 

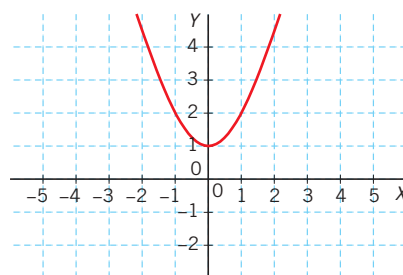
a. $\frac{7}{3} : \left(\frac{5}{2}\right)^2$	e. $\frac{17}{17} : \frac{2}{3}$
b. $5^2 \cdot \frac{3}{8}$	f. $(3^2)^4$
c. $\frac{2}{3} - \frac{4}{7}$	g. $25^3 \cdot 25^2$
d. $\frac{7^5}{7^8}$	h. $(2^4)^5 \cdot (2^3)^{-6}$
- Demuestra** que  $a^0 = 1$ , utilizando la división de potencias. **Comprueba** la fórmula para  $a = 2$ ,  $a = -7$  y  $a = 0$ .

## 3 ÁLGEBRA

- La segunda ley de Newton establece que  $F = m \cdot a$ , donde  $F$  es la fuerza que actúa sobre un objeto;  $m$ , la masa del objeto, y  $a$ , su aceleración. Si la fuerza es de 15 N y la aceleración, de  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ :
  - ¿Cuál es la masa del objeto?
  - Expresa** la ecuación en la forma  $ax + b = 0$ .
- Resuelve** el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} 4x + y = 7 \\ \frac{x}{y} + 3 = 1 \end{cases}$$

- Resuelve** la siguiente ecuación de segundo grado:  $5x^2 - 4x = 57$ , y comprueba las soluciones mediante esta calculadora online: <http://goo.gl/NvTe4B>
- Resuelve** las siguientes ecuaciones o sistemas de ecuaciones:
  - $x^2 + 3x = 28$
  - $x = -5 + 10t$ ;  $x = 15 - 8t$
  - $8x - 2x/3 + 5 = 7$
- Representa** gráficamente la función  $y = 3x^2 - 3$ , y **halla** los puntos de corte con el eje de las abscisas.
- Representa** gráficamente las siguientes funciones. Utiliza <http://fooplot.com/> para comprobar tus respuestas.
  - Recta con pendiente  $m = 4$  y ordenada en el origen  $(0, -5)$ .
  - Recta con pendiente  $m = -6$  que pasa por el punto  $(8, 5)$ .
  - Parábola con eje de simetría  $y = 5$ .
  - Parábola que pasa por los puntos  $(0, 0)$  y  $(3, 5)$  con eje de simetría en  $x = 3$ .
- Halla** la función que representa la siguiente figura:



- Comprueba que la solución es correcta, utilizando esta herramienta para representar funciones: <http://goo.gl/yHDxeh>

15. Una bicicleta circula por una carretera horizontal a una velocidad constante de  $5,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , y cruza una línea blanca. En ese mismo instante, pero diez metros más atrás, está circulando un auto a  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . **Representa** gráficamente las posiciones en función del tiempo del auto y de la bicicleta. ¿En qué instante de tiempo se cruzan los dos vehículos? ¿A qué distancia se encuentran de la línea blanca?  
**Da** los resultados en unidades del SI.

#### 4 GEOMETRÍA Y TRIGONOMETRÍA

16. La Luna tiene un diámetro medio aproximado de  $3,48 \cdot 10^3 \text{ km}$ . ¿Cuál es su superficie? ¿Y su volumen?
17. **Demuestra**, utilizando el teorema de Pitágoras, que:  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ .
18. El volumen de una partícula subatómica es aproximadamente  $V_p = 1,5 \cdot 10^{41} \text{ m}^3$ . ¿Cuál es su radio?
19. Queremos sustituir unas escaleras por una rampa para llegar a la puerta de un edificio público. Teniendo en cuenta que la pendiente máxima debe ser del 6 % y que la puerta está a 120,0 cm del nivel del suelo, determina: a) la longitud mínima que tendrá la rampa; b) la distancia horizontal entre el inicio de la rampa y la pared del edificio.  
 Nota: La pendiente de una rampa se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Pendiente (\%)} = \frac{\text{Desnivel}}{\text{Longitud}} \cdot 100$$

20. La hipotenusa de un triángulo rectángulo mide 1 m, y uno de sus catetos mide  $(\sin \theta)$  metros. ¿Cuánto mide el segundo cateto?
21. **Utiliza** las relaciones trigonométricas vistas en la unidad para demostrar lo siguiente:

$$\text{tg}^2 \theta + 1 = \frac{1}{\cos^2 \theta}$$

22. Un sistema está formado por un tubo cilíndrico de radio  $r = 7,0 \text{ cm}$  y dos conos iguales en cada uno de los extremos, cuyos vértices se encuentran en el eje del sistema. La longitud del tubo es de 55,0 cm y la longitud total del sistema es de 60,0 cm. Según estos datos, **calcula**:
- La longitud de la generatriz de los conos (es decir, del vértice a la base del cono sobre su superficie).
  - La superficie total del sistema.
  - El ángulo que forman la generatriz y el eje del sistema.

23. La posición de un cuerpo que se rige por un movimiento armónico simple viene dada por  $x(t) = 3 \sin(\pi t + \pi/2) \text{ (m)}$ .

- Representa** la posición en función del tiempo.
- Halla** una función equivalente utilizando el coseno en vez del seno.

#### 5 VECTORES

24. Dados los vectores  $\vec{u} = (-5, 15)$  y  $\vec{v} = (2, -3)$ , y el escalar  $k = -4$ , **resuelve** las siguientes operaciones: a.  $\vec{u} + \vec{v}$ ; b.  $\vec{u} - \vec{v}$ ; c.  $k(2\vec{u} + \vec{v})$ ; d.  $-k(\vec{u} \cdot \vec{v})$ .
25. Dado el vector  $\vec{u} = (5, -4)$  y el escalar  $k = -3$ , representa gráficamente los siguientes vectores: a.  $\vec{u}$ ; b.  $k\vec{u}$ ; c.  $\vec{u} + k\vec{u}$ .
26. Dados los vectores  $\vec{u} = (4, 0)$  y  $\vec{v} = (-6, 8)$ , **completa** la siguiente tabla en función del valor del escalar  $k$ :

k	$k\vec{u} + 2\vec{v}$	$\vec{u} - 3\vec{v}$	$k(\vec{u} \cdot \vec{v})$
3			
7			

27. Un objeto está sometido a dos fuerzas,  $\vec{F}_1 = 0,03 \hat{i} \text{ N}$  y  $\vec{F}_2 = -2 \hat{i} + 5 \hat{j} \text{ mN}$ , simultáneamente. **Calcula** la fuerza resultante que lo empuja.
28. **Representa** gráficamente las fuerzas que intervienen en el ejercicio anterior. ¿Qué valor debería tener una tercera fuerza aplicada al objeto de tal manera que la fuerza total resultante fuera nula? Resuélvelo de forma gráfica y numérica.
28. Dado el vector  $v = (2, -4)$ , calcula su módulo y el ángulo que forma con el eje X. **Comprueba** los resultados con la herramienta que aparece en: <http://goo.gl/7pz8qA>
30. Razona si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
- La base de un sistema de referencia es siempre un conjunto de dos vectores.
  - Todos los sistemas de referencia son ortogonales.
  - El vector  $\vec{k} = (1, 1)$  es un vector unitario.
  - Un sistema de referencia ortonormal es siempre ortogonal.



# 1

# Movimiento

## CONTENIDOS:

- 1. ¿Qué es el movimiento?**
  - 1.1. Movimiento y reposo
  - 1.2. Posición y trayectoria
  - 1.3. Desplazamiento y distancia recorrida
- 2. La rapidez en el cambio de posición**
  - 2.1. Velocidad media y velocidad instantánea
  - 2.2. Movimiento rectilíneo uniforme
- 3. Cambios de velocidad**
  - 3.1. Aceleración
  - 3.2. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado
  - 3.3. Movimiento circular uniforme



### Noticia



En el mundial del atletismo en 2009, el jamaicano Usain Bolt estableció un nuevo récord mundial al correr los 100 m lisos en 9,58 segundos.

También fijó una nueva mejor marca para los 200 m lisos, al correrlos en 19,19 segundos.

En los 100 m lisos, los atletas parten del reposo y aceleran de forma que su velocidad aumenta linealmente durante los tres primeros segundos hasta alcanzar una velocidad máxima que suelen mantener constante hasta finalizar la carrera.

<http://goo.gl/Ed5WTY>

### EN CONTEXTO

a. Después de leer la noticia, responde:

- ¿Crees que esta velocidad máxima coincide con la velocidad media?
- ¿Puedes calcular a qué velocidad media corrió en las dos pruebas?
- La velocidad calculada anteriormente, ¿es la que mantiene el atleta durante toda la carrera o en un instante cualquiera?

## Y TAMBIÉN:



El estudio del movimiento se utiliza en muchos campos de la ciencia y tecnología. Por ejemplo, en astronomía, meteorología, balística, en la recreación de los accidentes de tránsito, en el estudio de los desbordamientos de ríos, en biomecánica, en la ingeniería mecánica y en las industrias aeronáutica y aeroespacial, se aplican ecuaciones del movimiento.

# I. ¿QUÉ ES EL MOVIMIENTO?

A menudo, hablamos de un tren de alta velocidad o de un auto que está parado. Vamos a ver qué es el movimiento y cómo se describe.

## 1.1. Movimiento y reposo

Un espectador que está en la vereda y ve pasar a los ciclistas de una carrera asegurará que están en movimiento. Pero ¿qué dirá un ciclista respecto a uno de sus compañeros que permanece junto a él? Seguramente afirmará que su compañero no se mueve de su lado.

Para describir un movimiento, debemos tomar como referencia otros cuerpos que consideramos fijos. Estos cuerpos constituyen un sistema de referencia.

Llamamos **sistema de referencia** a un cuerpo de referencia, un sistema de coordenadas asociado a él e instrumentos de medición del tiempo.

Así, el ciclista cambia su posición respecto del espectador, pero no la cambia respecto de su compañero.

Un cuerpo está en **movimiento** si cambia de posición con respecto al sistema de referencia; en caso contrario, decimos que está en reposo.

Los cuerpos capaces de desplazarse reciben el nombre de móviles.

## La relatividad del movimiento

Fijate en que el movimiento es relativo, ya que el estado de movimiento o reposo de un cuerpo depende del sistema de referencia elegido.

Un observador situado en tierra observa que la posición del cartel respecto a él no varía.

El cartel está en reposo respecto a un sistema de referencia situado en la estación.

Un pasajero del tren observa que el cartel se mueve.

El cartel está en movimiento respecto a un sistema de referencia situado en el tren.



<http://goo.gl/NX5tLI>

1. Juan se encuentra en una parada de autobús. El vehículo n.º 4 pasa sin detenerse a una velocidad de 40 km/h.
  - a. Si situamos el sistema de referencia en Juan, ¿el autobús n.º 4 está en reposo o en movimiento?
  - b. Si dentro del autobús n.º 4 se encuentra María y situamos el sistema de referencia en el vehículo, ¿María verá que Juan está en reposo o en movimiento?

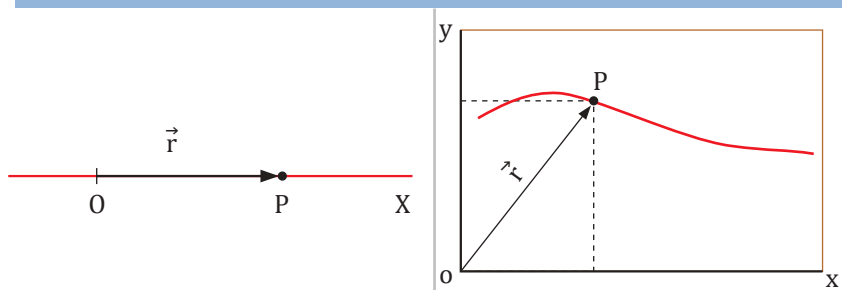
## 1.2 Posición y trayectoria

Para describir el movimiento de un cuerpo, necesitamos conocer la *posición* que ocupa en cada momento.

La **posición** de un móvil en un instante determinado es el punto del espacio que ocupa en ese instante.

Como sistema de referencia utilizaremos un **sistema de coordenadas** y la posición del móvil vendrá dada por su **vector posición**.

### Sistema de coordenadas



Cuando el móvil se mueve en línea recta, elegimos como sistema de referencia un eje de coordenadas que coincida con la recta sobre la que se mueve.

La posición, P, en un instante determinado vendrá dada por el vector posición  $\vec{r}$ , que une el origen O con el punto P.

Si el móvil se mueve sobre un plano, podemos elegir como sistema de referencia dos ejes de coordenadas.

Del mismo modo, la posición, P, en un instante determinado vendrá dada por el vector posición  $\vec{r}$ , que une el origen O con el punto P.

■ Tabla 1.

Si un móvil está en reposo respecto al sistema de referencia que hemos escogido, su posición no varía con el tiempo. Pero si está en movimiento, su posición irá cambiando.

Llamamos **trayectoria** a la línea imaginaria formada por los sucesivos puntos que ocupa un móvil en su movimiento.

2. Un móvil se encuentra en el punto (2 m, 4 m) en un determinado instante. Después de 3 s, se encuentra en el punto (6 m, 1 m).

- **Dibuja** estas dos posiciones y sus vectores posición correspondientes en un sistema de coordenadas.

3. **Di** qué tipo de movimiento, según su trayectoria, realizan los siguientes cuerpos: a. Un nadador de 50 m crol; b. Una pelota de baloncesto en un lanzamiento de tiro libre; c. La rueda de un camión en marcha; d. Un montacargas; e. una puerta que se abre; f. Un esquiador al bajar por una pista.

### Actividades

### Y TAMBIÉN: ¡?

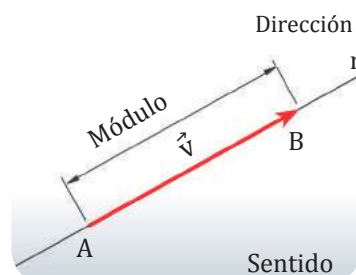
Un vector es un segmento orientado.

Los elementos de un vector son:

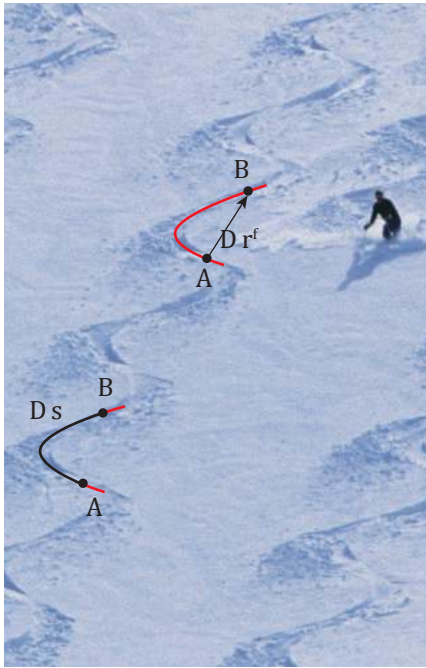
**Módulo:** es la longitud del vector. Coincide con el valor numérico de la magnitud que representa y se simboliza por  $|\vec{v}|$  o por  $v$ .

**Dirección:** es la de la recta  $\vec{r}$  que contiene al vector.

**Sentido:** es el determinado sobre la recta  $r$  al ir desde el origen A hasta el extremo B. Se indica mediante la flecha del vector.



■ Fig. 1.



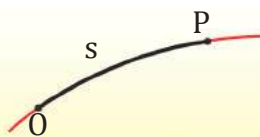
■ Fig. 2.

### Y TAMBIÉN:

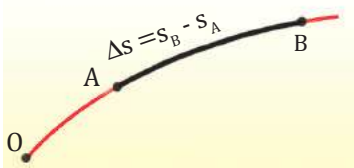


Otra forma de determinar la posición de un móvil es mediante una longitud medida sobre la trayectoria.

- Para determinar la posición del punto P, elegimos un punto arbitrario O y damos la longitud, s, medida sobre la trayectoria desde el punto O hasta el punto P.

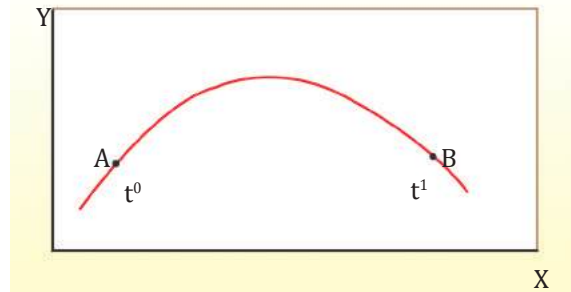


- La longitud medida sobre la trayectoria entre los puntos A y B corresponderá a  $\Delta s = s_B - s_A$ .



## 1.3 Desplazamiento y distancia recorrida

A Consideremos un cuerpo que se mueve desde un punto A a un punto B siguiendo la trayectoria que se muestra en la figura.



■ Fig. 3.

Podemos medir la variación de la posición del móvil entre los instantes  $t_0$  y  $t_1$  utilizando dos nuevas magnitudes: *el vector desplazamiento y la distancia recorrida sobre la trayectoria.*

El **vector desplazamiento** entre dos puntos de la trayectoria es el vector que une ambos puntos.

El vector desplazamiento se representa mediante  $\Delta \vec{r}$ .

El módulo del vector desplazamiento suele llamarse desplazamiento y se representa por  $|\Delta \vec{r}|$  o por  $\Delta r$ .

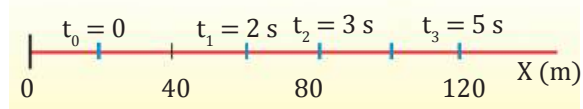
La **distancia recorrida** en un intervalo de tiempo es la longitud, medida sobre la trayectoria, que existe entre las posiciones inicial y final.

La distancia recorrida medida sobre la trayectoria se representa mediante  $\Delta s$ .

**Observa** que, salvo en el caso de movimientos rectilíneos, la distancia medida sobre la trayectoria será siempre mayor que el desplazamiento.

### Ejemplo 1

En el gráfico puedes observar las posiciones de un motociclista en una carretera recta en distintos instantes. **Calcula** la distancia recorrida en los dos primeros segundos y en los tres siguientes segundos.



Puesto que se trata de un movimiento rectilíneo en el que no hay cambio de sentido, la distancia recorrida sobre la trayectoria coincide con la diferencia de las coordenadas.

$$\Delta s = s - s_0 = x - x_0 = \Delta x$$

La distancia recorrida entre los instantes  $t_0 = 0$  y  $t_1 = 2$  s es:

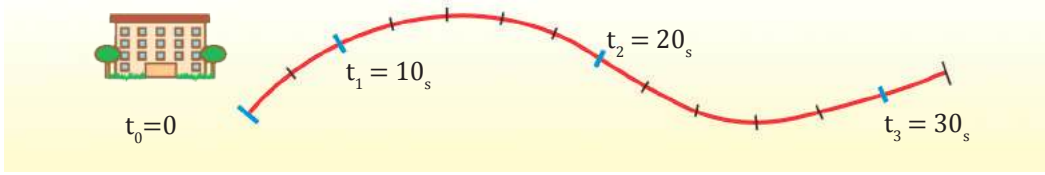
$$\Delta s = \Delta x = x_1 - x_0 = 60\text{m} - 20\text{m} = 40\text{m}$$

La distancia recorrida entre los instantes  $t_1 = 2$  s y  $t_3 = 5$  s es:

$$\Delta s = \Delta x = x_3 - x_1 = 120\text{m} - 60\text{m} = 60\text{m}$$

## Ejemplo 2

La siguiente imagen representa la ruta de un turista desde su hostel hasta un parque. La separación entre dos divisiones sobre la trayectoria corresponde a una longitud de 5 m y se indica el tiempo para algunas de las posiciones.



—Dibuja el vector desplazamiento y calcula la distancia recorrida por el turista entre los instantes:

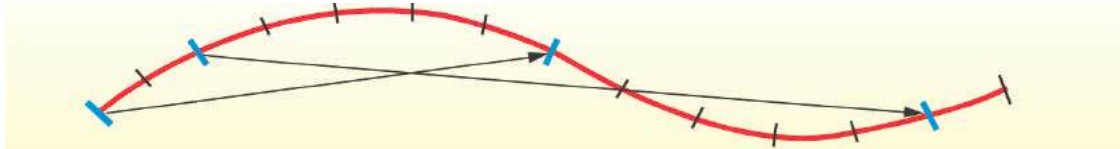
Tiempo (s)	$t_0 = 0$	$t_1 = 10$	$t_2 = 20$	$t_3 = 30$
Distancia desde el origen (m)	$s_0 = 0$	$s_1 = 10$	$s_2 = 35$	$s_3 = 60$

— Las distancias recorridas se hallan restando las longitudes desde el hostel.

a.  $\Delta s = s_2 - s_0 = (35 - 0) \text{ m} = 35 \text{ m}$

b.  $\Delta s = s_3 - s_1 = (60 - 10) \text{ m} = 50 \text{ m}$

—Dibujamos vectores desplazamiento entre los instantes indicados.



4. **Explica** qué diferencia existe entre desplazamiento y distancia recorrida.

— Razona si en algún caso el módulo del vector desplazamiento puede ser mayor que la distancia recorrida.

5. Juan da una vuelta completa en bicicleta a una pista circular de 10 m de radio.

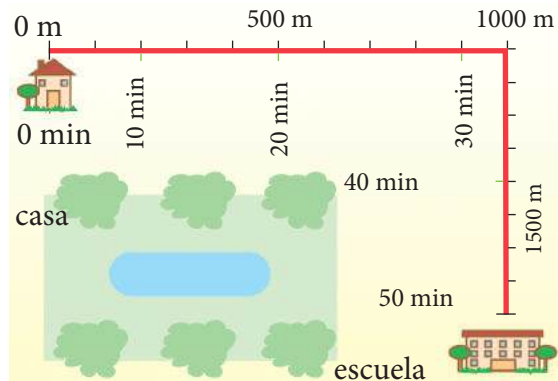
- ¿Cuánto vale el desplazamiento?
- ¿Qué distancia medida sobre la trayectoria ha recorrido?

6. Al empezar un paseo, Natalia recorre 20 m en los primeros 10 s. En los siguientes 20 s, recorre 45 m más.

- **Representa** estos datos en un sistema de referencia tomando tiempo cero cuando Natalia empieza el paseo.
- ¿Qué distancia ha recorrido en los 30 s?

7. El dibujo representa la trayectoria que sigue un estudiante para ir de su casa a la escuela.

- **Confecciona** una tabla de datos: en una columna, **escribe** los tiempos y, en otra, las posiciones.
- **Calcula** las distancias recorridas entre 0 min y 20 min, y entre 20 min y 40 min. ¿Son iguales las distancias en los dos casos?



## 2. LA RAPIDEZ EN EL CAMBIO DE POSICIÓN

En el estudio del movimiento de un cuerpo tenemos que conocer el significado del término *rapidez* y del término *velocidad*. Es decir, la mayor o menor distancia recorrida por un móvil por unidad de tiempo.

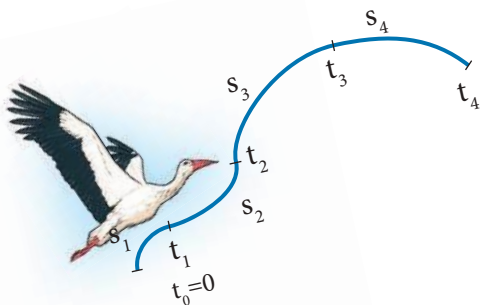


Fig. 4.

La **velocidad** es una magnitud vectorial, que representa la razón de cambio entre el vector desplazamiento y la variación de tiempo  $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$   $\vec{\Delta s} \equiv$  vector desplazamiento  $\Delta t \equiv$  variación del tiempo

La **rapidez** es el módulo o tamaño del vector velocidad, es una magnitud escalar.

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad adoptada para medir la velocidad es el metro por segundo (m/s). Otra unidad de velocidad muy utilizada es el kilómetro por hora (km/h).

### Ejemplo 3

Un ave migratoria recorre las siguientes distancias en su viaje:

Tramo	Posición (km)	Tiempo (h)	Distancia recorrida $\Delta s$ (km)	Tiempo empleado $\Delta t$ (h)	Rapidez $\Delta s/\Delta t$ (km/h)
1	$s_1 = 18$	$t_1 = 0,5$	$s_1 - s_0 = 18$	$t_1 - t_0 = 0,5$	$18 / 0,5 = 36$
2	$s_2 = 63$	$t_2 = 1,5$	$s_2 - s_1 = 45$	$t_2 - t_1 = 1,0$	$45 / 1 = 45$
3	$s_3 = 123$	$t_3 = 2,5$	$s_3 - s_2 = 60$	$t_3 - t_2 = 1,0$	$60 / 1 = 60$
4	$s_4 = 144$	$t_4 = 3,0$	$s_4 - s_3 = 21$	$t_4 - t_3 = 0,5$	$21 / 0,5 = 42$

A la vista de estos cocientes, podemos afirmar que el ave ha volado con mayor rapidez en el tercer tramo, en el que el cociente  $\Delta s/\Delta t$  ha sido mayor.

### Y TAMBIÉN:



La **velocidad** es una magnitud vectorial y se representa mediante un vector caracterizado por:

El **módulo** o valor numérico de la velocidad, denominado también rapidez.

La **dirección**, o sea, la recta que contiene el vector velocidad.

El **sentido**, indicado por la punta de la flecha del vector.



<https://goo.gl/HmTGA3>

### 2.1. Velocidad media y velocidad instantánea

En el ejemplo anterior hemos visto cómo el ave migratoria se mueve a distintas velocidades en los diferentes tramos de su trayectoria.

Es decir, el cociente  $\Delta s/\Delta t$  toma valores distintos según los tramos del recorrido. Cada uno de estos valores representa un promedio de lo rápido que circula el móvil en un tramo concreto, denominado **velocidad media**.

La **velocidad media** es el cociente entre la distancia recorrida por el móvil y el tiempo empleado en recorrerla.

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0} \quad \begin{array}{l} s = \text{posición} \\ s_0 = \text{posición inicial} \end{array} \quad \begin{array}{l} t = \text{tiempo} \\ t_0 = \text{tiempo inicial} \end{array}$$

La rapidez que marca continuamente el velocímetro de un auto, representa en realidad el límite cuando el intervalo de tiempo tiende a 0. Cuando tenemos cambios infinitesimales de desplazamientos y tiempos, hablamos del concepto de **velocidad instantánea**, que estudiaremos en los cursos siguientes.

### Ejemplo 4

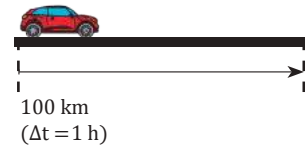
Una familia va de viaje en auto. Recorren los primeros 100 km en un tiempo de 1 h. Transcurrido este tiempo, se detienen durante 0,5 h para descansar, tras lo cual reanudan la marcha y tardan 0,5 h en cubrir los últimos 60 km que aún restan para llegar a su destino.

Al término de su viaje, desean conocer a qué velocidad se han desplazado. Para ello, realizan el siguiente cálculo:

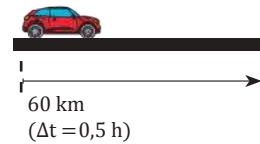
$$v_m = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Tiempo empleado}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$v_m = \frac{100 \text{ km} + 60 \text{ km}}{1 \text{ h} + 0,5 \text{ h} + 0,5 \text{ h}} = \frac{160 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

El valor obtenido representa la velocidad media del auto en el viaje. Esto no significa que el auto haya circulado a esta velocidad durante todo el recorrido, pues algunas veces lo ha hecho a mayor velocidad, otras a menor velocidad y durante algún tiempo ha estado parado.



( $\Delta t = 0,5 \text{ h}$ )

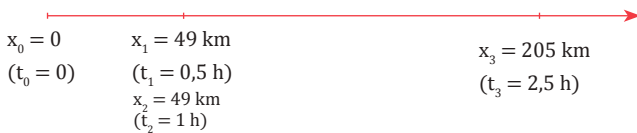


<http://goo.gl/1lof1K>

### Ejemplo 5

Un tren parte del punto kilométrico 0 a las 0.00 h y, después de recorrer 49 km en un tiempo de 0,5 h, se avería, por lo que debe detenerse. Los empleados de mantenimiento subsanan la avería a la 1.00 h. En ese momento, el tren reanuda la marcha y llega a las 2.30 h a la estación de destino, situada en el punto kilométrico 205. **Calcula** la velocidad media del tren antes y después de la avería. **Expresa** el resultado en km/h y en m/s.

— Datos:



— Hallamos la velocidad media antes de la avería.

Puesto que se trata de un movimiento rectilíneo en el que el móvil no cambia el sentido de la marcha,  $\Delta s = \Delta x$ .

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} = \frac{(49 - 0) \text{ km}}{(0,5 - 0) \text{ h}} = 98 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$98 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 27,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

— Hallamos la velocidad media después de la avería.

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_3 - x_2}{t_3 - t_2} = \frac{(205 - 49) \text{ km}}{(2,5 - 1) \text{ h}} = 104 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$104 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 28,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

8. En una carrera participan tres autos. El número 1 recorre 5 km en 5 min, el número 2 recorre 8 km en 6 min y el número 3 recorre 2 km en 45 s.

— **Expresa** las velocidades en m/s e indica cuál de ellos llegará primero a la meta.

9. **Busca** el significado de instante y defínelo.

10. Un automóvil sale de la ciudad A a las 16.00 h y llega a la ciudad B, donde se detiene, a las 17.45 h. A las 18.45 h, el automóvil continúa la marcha y llega a la ciudad C a las 20.15 h.

— Si A y B distan 189 km, y B y C 135 km, **calcula** la velocidad media: a. en el viaje de A a B; b. en el de B a C; c. en todo el recorrido. **Expresa** el resultado en unidades del S.I.

### Actividades



## Y TAMBIÉN:



Movimiento rectilíneo uniforme es aquel en que el vector velocidad se mantiene constante. Es decir, la velocidad es constante en módulo, dirección y sentido.

## 2.2 Movimiento rectilíneo uniforme

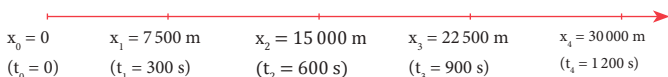
Entre todos los tipos de movimientos posibles destaca por su importancia y sencillez el movimiento rectilíneo uniforme, abreviadamente MRU.

La trayectoria de un MRU es una **línea recta** y la **velocidad es constante**.

### Ejemplo 6

En la siguiente tabla se muestra la posición en diversos instantes de un auto que se mueve con una velocidad constante de 90 km/h (25 m/s) por una autopista rectilínea.

Posición (m)	0	7 500	15 000	22 500	30 000
Tiempo (s)	0	300	600	900	1 200



Podemos comprobar que la velocidad media es la misma para cualquier intervalo de tiempo. Por ejemplo:



<https://goo.gl/PACz7e>

De  $t_1 = 300\text{s}$  a  $t_3 = 900\text{s}$ :

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_3 - x_1}{t_3 - t_1} = \frac{22\,500\text{ m} - 7\,500\text{ m}}{900\text{ s} - 300\text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De  $t_3 = 900\text{s}$  a  $t_4 = 1200\text{s}$ :

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_4 - x_3}{t_4 - t_3} = \frac{30\,000\text{ m} - 22\,500\text{ m}}{1\,200\text{ s} - 900\text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

En un movimiento rectilíneo uniforme la velocidad media en cualquier intervalo de tiempo es siempre la misma; además, coincide con la velocidad instantánea para cualquier tiempo.

Puesto que la velocidad es constante, un objeto con MRU siempre tardará el mismo tiempo en recorrer una distancia determinada.

Un móvil se desplaza con **movimiento rectilíneo uniforme (MRU)** si sigue una trayectoria rectilínea y su velocidad es constante en todo momento, recorriendo distancias iguales en iguales intervalos de tiempo.

### Ecuación del MRU

Como la velocidad media coincide con la velocidad instantánea en cualquier instante y se mantiene constante:

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v \cdot \Delta t$$

Esta ecuación nos da la distancia recorrida. A partir de ella, podemos deducir la ecuación de la posición en función del tiempo.

$$x - x_0 = v(t - t_0)$$

$$x = x_0 + v(t - t_0)$$

Esta expresión constituye la **ecuación del movimiento rectilíneo uniforme** y nos da la posición que ocupa el móvil en cualquier instante.

Si comenzamos a contar el tiempo cuando el móvil se encuentra en la posición  $x_0$ , es decir,  $t_0 = 0$ , resulta:

$$x = x_0 + v \cdot t$$

Un ciervo puede alcanzar una velocidad de 80 km/h. Si mantiene esta velocidad constante durante el tiempo suficiente, calcula: a. qué distancia recorrerá en 10 s; b. qué tiempo tardará en recorrer 1 km.

—Datos:

$$v = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t_0 = 0 \quad x_0 = 0 \quad t_1 = 10 \text{ s} \quad x_2 = 1000 \text{ m}$$

- a. La distancia recorrida en 10 s coincidirá con la posición en ese instante, puesto que hemos elegido como condiciones iniciales  $t_0 = 0$ ,  $x_0 = 0$ .

$$x_1 = x_0 + v \cdot (t_1 - t_0) = v \cdot t_1$$

$$\begin{array}{cc} x_0 = 0 & x_1 = ? \\ (t_0 = 0) & (t_1 = 10 \text{ s}) \end{array} \quad x_1 = 22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10 \text{ s} = 222,2 \text{ m}$$

- b. Despejamos el tiempo de la ecuación del MRU.

$$x_2 = x_0 + v \cdot (t_2 - t_0) = v \cdot t_2$$

$$\begin{array}{cc} x_0 = 0 & x_2 = 1000 \text{ m} \\ (t_0 = 0) & (t_2 = ?) \end{array} \quad t_2 = \frac{x_2}{v} = \frac{1000 \text{ m}}{22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 45 \text{ s}$$

## Y TAMBIÉN: !?

El consumo mínimo en un automóvil se consigue circulando a una velocidad constante, la llamada **velocidad de cruceo**, pues acelerar y frenar incrementa el consumo.

Además, en un automóvil, el consumo de combustible aumenta con la velocidad y, para valores superiores a 90 km/h, este aumento se dispara. Por esta razón, en las proximidades de las grandes ciudades la velocidad máxima se restringe a 80 km/h. E: Esta medida se aplica sobre todo cuando se desea bajar la contaminación.



<http://goo.gl/zfWw2r0>

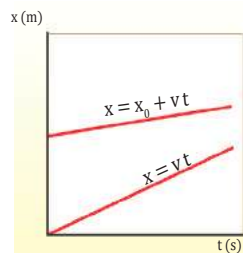
## Gráficas del MRU

Es muy útil representar gráficamente el movimiento de un cuerpo para visualizar con claridad las características.

### Gráfica velocidad-tiempo (x-t)

En el eje de abscisas representamos los tiempos y, en el de ordenadas, las posiciones del móvil.

La gráfica corresponde a una **recta de pendiente v**, y en el caso de que  $t_0 = 0$ , ordenada en el origen  $x_0$ .

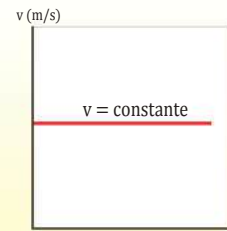


■ Tabla 2.

### Gráfica velocidad-tiempo (v-t)

En el eje de abscisas representamos los tiempos y, en el de ordenadas, la velocidad del móvil.

La gráfica corresponde a una **recta horizontal (pendiente cero)** y ordenada en el origen v.



■ Tabla 3.

- Coloca** un ejemplo de movimiento rectilíneo uniforme y **explica** qué característica tiene la velocidad en este tipo de movimiento.
- Pedro va al colegio caminando desde su casa. La distancia que debe recorrer es de 410 m. Si tarda 6 min 24 s en llegar, ¿cuál es la velocidad de Pedro?
- Un ciclista se encuentra en el kilómetro 25 de una etapa de 115 km. ¿Cuánto tiempo tardará en llegar a la meta si rueda a una velocidad de 60 km/h?
- Si los animales tuvieran sus propios juegos olímpicos, según estos datos, ¿cuál obtendría la medalla de oro en una carrera de 200 metros lisos?

Oso perezoso	0,2 km/h
Caracol	50 m/h
Tortuga	70 m/h

- Un ave vuela a una velocidad constante de 15 m/s.
  - Confecciona** una tabla que recoja las posiciones del ave cada 5 s durante un vuelo de 30 s.
  - Dibuja** en tu cuaderno la gráfica posición tiempo del ave a partir de los valores registrados en la tabla.

## 3. CAMBIOS DE VELOCIDAD

Si analizamos los movimientos de un gimnasta en el salto de potro, podemos observar que su velocidad va cambiando:

- Cuando el gimnasta inicia la carrera, el módulo de la velocidad aumenta.
- Cuando salta, la dirección de la velocidad cambia.
- Cuando el gimnasta toma tierra, el módulo de la velocidad disminuye.

Siempre que hay un cambio en la velocidad tiene lugar una aceleración.

### 3.1 Aceleración

La rapidez con que tiene lugar el cambio de velocidad puede ser mayor o menor. Pensemos, por ejemplo, en un auto que sale de un semáforo muy deprisa y en otro que lo hace despacio.

Así como la velocidad nos expresa la rapidez en el cambio de posición, la magnitud que nos expresa la rapidez en el cambio de velocidad se denomina *aceleración*

La **aceleración** de un móvil representa la rapidez con que varía su velocidad.

Para calcular la aceleración de un móvil, dividimos la variación de velocidad entre el intervalo de tiempo:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

$v$  = velocidad                       $t$  = tiempo  
 $v_0$  = velocidad inicial             $t_0$  = tiempo inicial

La unidad de aceleración en el Sistema Internacional es el **metro por segundo al cuadrado ( $m/s^2$ )**. Una aceleración de  $1 m/s^2$  indica que el móvil varía su velocidad en un metro por segundo, cada segundo.

#### Y TAMBIÉN:



- En cualquier movimiento con trayectoria curvilínea, la **velocidad** cambia de dirección puesto que esta es tangente a la trayectoria.



Fig. 4.

- La **aceleración** es una magnitud vectorial, al igual que el desplazamiento o la velocidad. Por tanto, se caracteriza por tres elementos: módulo, dirección y sentido.

#### Ejemplo 8

Un motociclista que parte del reposo adquiere una velocidad de  $12 m/s$  en  $4 s$ . Más tarde, frena ante un semáforo en rojo y se detiene en  $3 s$ . **Calcula** la aceleración: a. Al ponerse en marcha; b. Al detenerse.

a. Calculamos la aceleración.

$$v_0 = 0 \quad v = 12 m/s$$

$$t_0 = 0 \quad t = 4 s$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{(12 - 0) m/s}{(4 - 0) s} = 3 \frac{m}{s^2}$$

Al ponerse en marcha, la aceleración es  $+3 m/s^2$ .

Si tomamos como positivo el sentido de avance de la moto, el signo positivo de la aceleración indica que su sentido es el mismo que el de la velocidad. Por tanto, la velocidad aumenta.

b. Calculamos la desaceleración de frenada del motociclista.

$$v_0 = 12 m/s \quad v = 0 m/s$$

$$t_0 = 0 \quad t = 3 s$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{(0 - 12) m/s}{(3 - 0) s} = -4 \frac{m}{s^2}$$

Al detenerse, la aceleración es  $-24 m/s^2$ .

Si tomamos como positivo el sentido de avance de la moto, el signo negativo de la aceleración indica que su sentido es el contrario al de la velocidad. Por tanto, la velocidad disminuye.

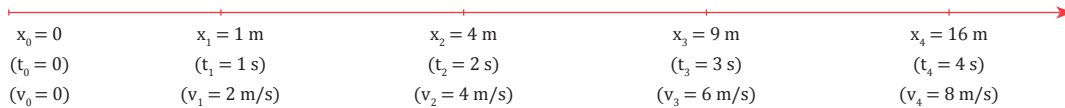
### 3.2 Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

De entre todos los movimientos en los que la velocidad varía o movimientos acelerados, tienen especial interés aquellos en los que la velocidad cambia con regularidad. Se trata de movimientos uniformemente acelerados.

#### Ejemplo 9

Un motociclista efectúa un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado en los primeros instantes de una carrera. Describe una trayectoria rectilínea y su velocidad aumenta regularmente.

Tiempo (s)	0	1	2	3	4
Posición (m)	0	1	4	9	16
Velocidad (m/s)	0	2	4	6	8



Podemos comprobar que la aceleración es la misma para cualquier intervalo de tiempo. Por ejemplo:

De  $t_0 = 0$  a  $t_2 = 2$  s:

De  $t_3 = 3$  s a  $t_4 = 4$  s:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_4 - v_3}{t_4 - t_3} = \frac{(8 - 6) \text{ m/s}}{(4 - 3) \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Un móvil se desplaza con **movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)** si sigue una trayectoria rectilínea y su aceleración es constante y no nula.

### Ecuaciones del MRUA

Para poder efectuar cálculos con MRUA, es necesario conocer las relaciones matemáticas que existen entre las magnitudes velocidad-tiempo y posición-tiempo.

#### Ecuación velocidad-tiempo

Partimos de:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$

$$a = \frac{v - v_0}{t} \Rightarrow v - v_0 = a \cdot t$$

Si comenzamos a contar el tiempo cuando el móvil tiene la velocidad inicial  $v_0$ , es decir, si  $t_0 = 0$ , resulta:

De donde deducimos la ecuación:  $v = v_0 + a \cdot t$  que nos permite calcular la velocidad en cualquier instante  $t$ .

#### Ecuación posición-tiempo

Partimos de la expresión de la velocidad media.

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0}$$

Si comenzamos a contar el tiempo cuando el móvil se encuentra en la posición inicial ( $t_0 = 0$ ):  $v_m = \frac{x - x_0}{t}$

Por otra parte, en el MRUA el valor de  $v_m$  coincide con la media de la velocidad inicial y la velocidad final:

$$v_m = \frac{v_0 + v}{2}$$

Igualamos las dos expresiones:  $\frac{x - x_0}{t} = \frac{v_0 + v}{2}$

Sustituimos  $v$  por su valor ( $v = v_0 + a \cdot t$ ):

$$\frac{x - x_0}{t} = \frac{v_0 + (v_0 + a \cdot t)}{2} = \frac{2v_0 + a \cdot t}{2}$$

$$\frac{x - x_0}{t} = v_0 + \frac{1}{2} a \cdot t \Rightarrow x - x_0 = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

De donde obtenemos la ecuación:

$$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

que nos permite calcular la posición en cualquier instante  $t$ .

■ Tabla 4.

## Signos de la velocidad y la aceleración

Para describir un movimiento rectilíneo, escogemos un sistema de referencia formado por un origen y un eje de coordenadas cuya dirección coincide con la trayectoria.

- Al utilizar las ecuaciones de los movimientos rectilíneos, la velocidad ( $v$ ) o la aceleración ( $a$ ) son positivas cuando su sentido coincide con el sentido positivo del eje de coordenadas, y son negativas en caso contrario.
- Además, cuando el sentido de la aceleración coincide con el de la velocidad, esta aumentará en módulo, mientras que si tienen sentidos contrarios, la velocidad disminuirá en módulo.

<http://goo.gl/coQUdI>



El módulo de la velocidad aumenta.

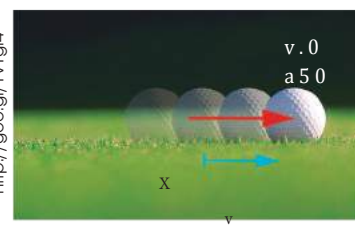
<http://goo.gl/pye5Aa>



El módulo de la velocidad disminuye.

■ Tabla 5.

<http://goo.gl/vvYgI4>



El módulo de la velocidad no varía.

### Ejemplo 10

Un tren aumenta uniformemente la velocidad de 20 m/s a 30 m/s en 10 s. **Calcula:** a. la aceleración; b. la distancia que recorre en este tiempo; c. la velocidad que tendrá 5 s después si mantiene constante la aceleración.

— Datos:

$x_0 = 0$	$x_1 = ?$	$x_2 = ?$
$(t_0 = 0)$	$(t_1 = 10 \text{ s})$	$(t_2 = 15 \text{ s})$
$(v_0 = 20 \text{ m/s})$	$(v_1 = 30 \text{ m/s})$	$(v_2 = ?)$

a. Calculamos la aceleración aplicando la ecuación de la velocidad entre los instantes  $t_0$  y  $t_1$ .

$$v = v_0 + a \cdot t$$

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{(30 - 20) \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

La aceleración del tren es de  $1 \text{ m/s}^2$ .

b. Calculamos la distancia recorrida entre los instantes  $t_0$  y  $t_1$  aplicando la ecuación posición-tiempo.

$$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$0 + 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10 \text{ s} + \frac{1}{2} 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10 \text{ s})^2 =$$

$$= 200 \text{ m} + 50 \text{ m} = 250 \text{ m}$$

La distancia recorrida es de 250 m.

c. Para calcular la velocidad a los 15 s, aplicamos la ecuación de la velocidad entre los instantes  $t_0$  y  $t_2$ .

$$v = v_0 + a \cdot t =$$

$$= 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 15 \text{ s} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

16. **Pon** un ejemplo de MRUA y **explica** qué características tienen la velocidad y la aceleración en este tipo de movimiento.

17. **Calcula** la aceleración que debe tener un auto para alcanzar una velocidad de 108 km/h en 10 s si parte del reposo.

— ¿Qué distancia recorre en ese tiempo?

18. Un guepardo persigue en línea recta a su presa a 64,8 km/h adquiriendo, a partir de este momento, una aceleración constante de  $4 \text{ m/s}^2$ . **Calcula** la velocidad y la distancia recorrida al cabo de 8 s de comenzar a acelerar.

19. Un camión que circula a 70,2 km/h disminuye la velocidad a razón de  $3 \text{ m/s}$  cada segundo. ¿Qué distancia recorrerá hasta detenerse?

20. Elegimos el sentido positivo del sistema de referencia hacia la derecha. **Indica** los signos que resultarán para la velocidad y la aceleración en los siguientes casos:

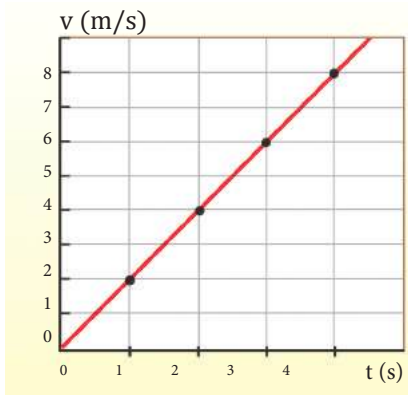
a. Un móvil va hacia la derecha y el módulo de su velocidad aumenta.

b. Un móvil va hacia la izquierda y el módulo de su velocidad disminuye.

### Actividades

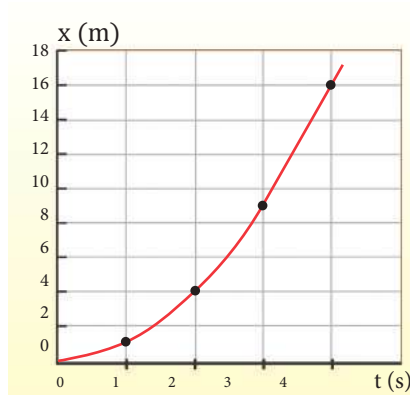
## Gráficas del MRUA

Veamos ahora qué forma presentan las gráficas velocidad-tiempo y posición-tiempo en el MRUA. Para ello, representaremos gráficamente el movimiento de la motocicleta del ejemplo 9 de la página 35.



La gráfica v-t es una recta.

■ Fig. 5.



La gráfica x-t es una parábola.

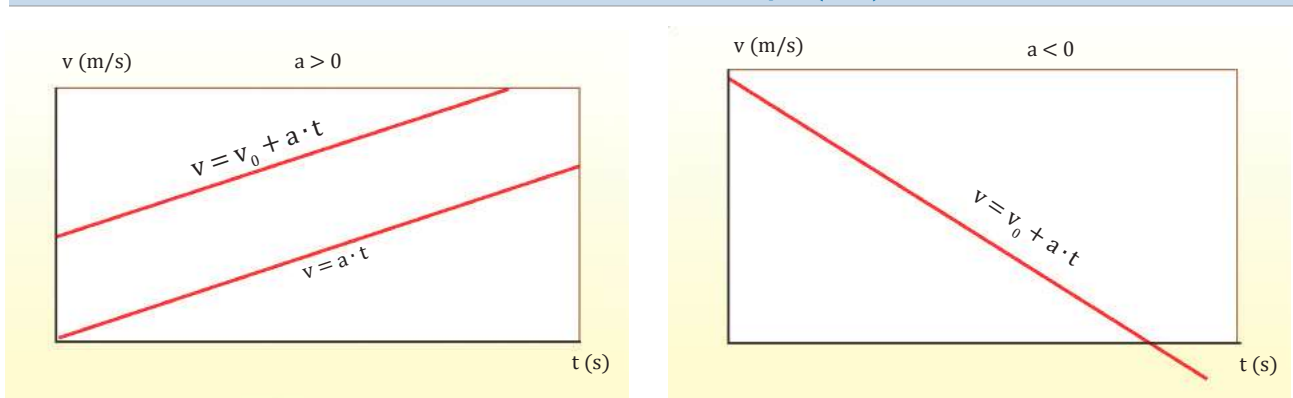
■ Fig. 6.

Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Posición (m)
0	0	0
1	2	1
2	4	4
3	6	9
4	8	16

■ Tabla 6.

En general, las representaciones gráficas posibles del MRUA son las siguientes:

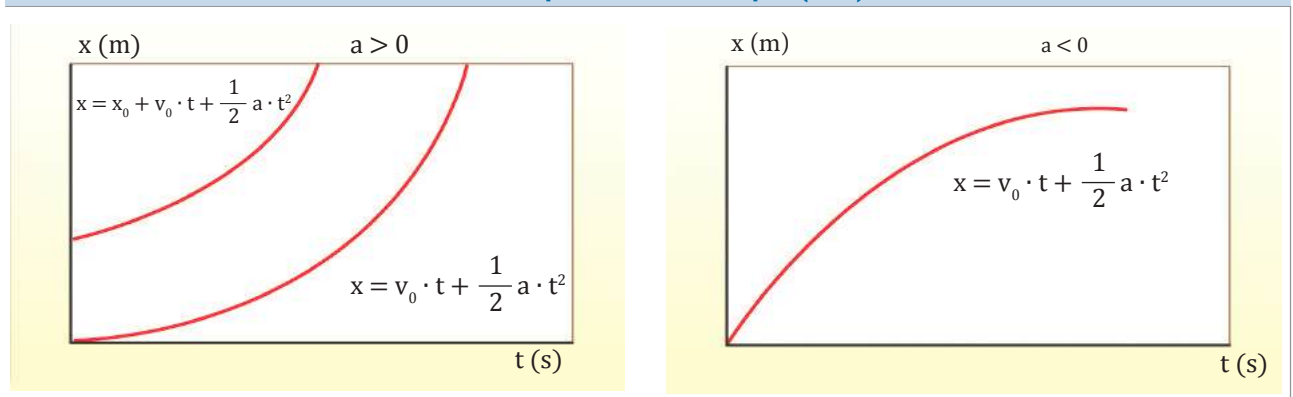
### Gráfica velocidad - tiempo (v - t)



■ Tabla 7.

La gráfica v-t es una **recta**, con cierta pendiente, cuya ordenada en el origen es la velocidad inicial. Cuanto mayor es la pendiente, mayor es la aceleración.

### Gráfica posición - tiempo (x - t)



La gráfica x-t es una **parábola** cuya ordenada en el origen es la posición inicial.

■ Tabla 8.



http://goc.gl/jvrP6v

## Movimiento parabólico

Observa la trayectoria que describe un balón de fútbol al ser lanzado hacia la portería.

Se trata de una trayectoria parabólica. Este movimiento está compuesto por dos movimientos simples:

- Un MRU horizontal de velocidad  $v_x$  constante.
- Un MRUA vertical con velocidad inicial  $v_{0y}$  hacia arriba.

### Ecuación de la velocidad

La velocidad inicial ( $v_0$ ) se descompone en sus dos componentes, horizontal ( $v_{0x}$ ) y vertical ( $v_{0y}$ ) cuyos valores se calculan fácilmente a partir del ángulo que forma  $v_0$  con la horizontal:

$$\cos \alpha = \frac{v_{0x}}{v_0} ; \sin \alpha = \frac{v_{0y}}{v_0}$$

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha ; v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

La velocidad según la dirección horizontal es siempre constante e igual a la inicial  $v_{0x}$ .

$$v_x = v_{0x} = \text{constante}$$

La velocidad según la dirección vertical es la correspondiente al MRUA con velocidad inicial ascendente. Hay que tener en cuenta que la componente de la aceleración es negativa en el sistema de referencia escogido, por lo que escribimos  $-g$ .

$$v_y = v_{0y} - g(t - t_0)$$

La velocidad resultante,  $\vec{v}$ , es la suma vectorial de  $v_x$  y  $v_y$ :

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} ; v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

### Ecuación de la posición

El movimiento componente en la dirección horizontal es uniforme, por tanto, la ecuación de la coordenada  $x$  es la de un MRU.

$$x = x_0 + v_{0x}(t - t_0)$$

El movimiento componente en la dirección vertical es uniformemente acelerado, por tanto, la ecuación de la coordenada  $y$  es la de un MRUA.

$$y = y_0 + v_{0y}(t - t_0) - \frac{1}{2}g(t - t_0)^2$$

El vector de posición ( $\vec{r}$ ) es la suma vectorial de los vectores de posición correspondientes a cada movimiento componente:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} ; \text{su módulo vale } |r| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

En la tabla 9, de la página siguiente, presentamos los parámetros característicos del movimiento parabólico. Estos parámetros se han calculado para un tiro parabólico desde el suelo ( $x_0 = 0$ ;  $y_0 = 0$ ) y  $t_0 = 0$  (fig. 2).

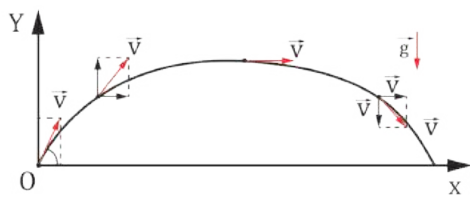


Fig. 7.

Y TAMBIÉN:



**Lanzamiento horizontal:** movimiento parabólico con  $v_{0y} = 0$ .

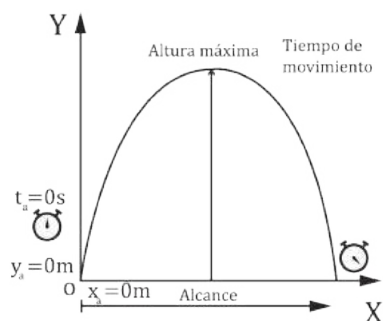


Fig. 8.

Prohibida su reproducción

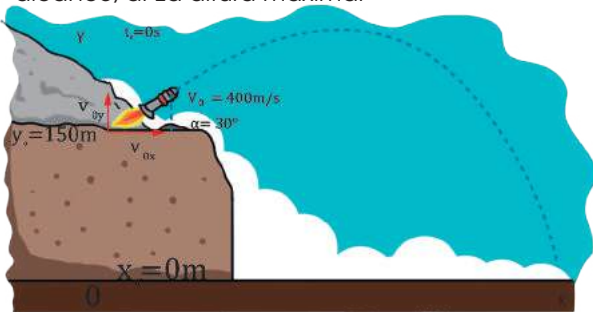
Tiempo de movimiento	Alcance	Altura máxima
Es el tiempo total que el móvil permanece en movimiento.  Para hallarlo tenemos en cuenta que $y = 0$ cuando el cuerpo llega al suelo.  $0 = v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$ ; $0 = v_{0y} - \frac{1}{2} g t$  Despejamos $t$ :  $t = \frac{2v_{0y}}{g}$  Sustituimos el valor de $v_{0y}$ en la expresión anterior:  $t = \frac{2v_0 \operatorname{sen} \alpha}{g}$	Es la distancia horizontal que recorre el móvil.  Lo obtendremos al sustituir en la ecuación de la coordenada $x$ la expresión del tiempo de movimiento.  $x = v_{0x} t = v_0 \cos \alpha \frac{2v_0 \operatorname{sen} \alpha}{g} = \frac{2v_0^2 \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha}{g}$  Y utilizando la relación trigonométrica $\operatorname{sen} 2\alpha = 2 \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha$ , resulta:  $x = \frac{v_0^2}{g} \operatorname{sen} 2\alpha$	La altura máxima se alcanza cuando $v_y = 0$ , es decir: $v_{0y} - g t = 0$  De aquí deducimos el valor de $t$ .  $t = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \operatorname{sen} \alpha}{g}$  Sustituimos este valor en la ecuación de la coordenada $y$ :  $y_{\max} = v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 = \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{g} - \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{2g}$  $y_{\max} = \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{2g}$

■ Tabla 9.

**Ejemplo 11**

Un proyectil es lanzado desde lo alto de un acantilado de 150 m de altura con una velocidad inicial de 400 m/s y con un ángulo de inclinación de 30°.

**Determina:** a. Las componentes de la velocidad inicial; b. El tiempo que tarda en caer al suelo; c. El alcance; d. La altura máxima.



a. Las componentes de  $v_0$  son:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha = 400 \text{ m/s} \cdot \cos 30^\circ = 346,4 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = v_0 \operatorname{sen} \alpha = 400 \text{ m/s} \cdot \operatorname{sen} 30^\circ = 200 \text{ m/s}$$

b. Cuando el proyectil llega al suelo,  $y = 0$ .

$$y = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$0 = 150 + 200t - \frac{1}{2} 9,8 t^2$$

$$4,9 t^2 - 200 t - 150 = 0$$

La solución positiva de la ecuación es:  $t = 41,5 \text{ s}$

c. El alcance se calcula sustituyendo el tiempo de movimiento en la ecuación de la coordenada  $x$ .

$$x = v_{0x} t = (v_0 \cos \alpha) t$$

$$x = 400 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos 30^\circ \cdot 41,5 \text{ s} = 14\,376 \text{ m}$$

d. En el punto de altura máxima se cumple que  $v_y = 0$ .

$$v_y = v_{0y} - g t$$

$$t = \frac{v_{0y} - v_y}{g} = \frac{200 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{9,8 \text{ m/s}^2} = 20,4 \text{ s}$$

— Sustituimos este valor de  $t$  en la ecuación de la coordenada  $y$  para hallar la altura máxima:

$$y = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$y_{\max} = 150 \text{ m} + 200 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 20,4 \text{ s} - \frac{1}{2} 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (20,4 \text{ s})^2$$

$$y_{\max} = 2\,190,8 \text{ m}$$

21. Una barca pretende cruzar un río con una velocidad de 12 m/s perpendicular a la corriente. La velocidad de la corriente es de 10 m/s. **Calcula:** a. El tiempo que tarda la barca en atravesar el río si éste tiene una anchura de 150 m; b. La distancia que recorre la barca.

22. Un futbolista patea hacia el arco con una velocidad de 15 m/s. **Calcula:** a. el alcance para un ángulo de tiro de 30°, 45° y 60°; b. el tiempo que el balón permanece en el aire en cada uno de los supuestos anteriores.

**Actividades**



## Y TAMBIÉN:



Galileo ideó experimentos con planos inclinados que le permitían estudiar más fácilmente la caída libre de los cuerpos. Comprobó que la velocidad final que adquiere un cuerpo al bajar por un plano inclinado es la misma que si se deja caer libremente en vertical desde la misma altura que el plano inclinado. En ambos casos, el móvil desarrolla un MRUA, aunque la aceleración es distinta: en el caso del plano, depende de su inclinación; mientras que en caída libre, la aceleración vale  $g$ .

## El movimiento vertical de los cuerpos

Si dejamos caer un cuerpo este describe, por la acción de la gravedad, un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, llamado **caída libre**, cuya aceleración constante es la aceleración de la gravedad,  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

Lo mismo sucede si el cuerpo se lanza verticalmente hacia arriba o hacia abajo.

En el estudio de esta clase de movimientos se acostumbra a tomar un sistema de referencia con origen en el suelo y formado por un eje de coordenadas, cuyo sentido positivo es el que se dirige hacia arriba.

Las ecuaciones de este movimiento para el sistema de referencia mencionado son las del MRUA para una **aceleración negativa**,  $a = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$ .

$$v = v_0 - g \cdot t$$

$$x = x_0 + v_0 \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Según el sentido de la velocidad inicial, podemos tener tres casos:

Lanzamiento vertical hacia abajo	Caída libre	Lanzamiento vertical hacia arriba
<p>La velocidad inicial, <math>v_0</math>, es negativa.</p>	<p>La velocidad inicial, <math>v_0</math>, es nula.</p>	<p>La velocidad inicial, <math>v_0</math>, es positiva.</p>

■ Tabla 10.

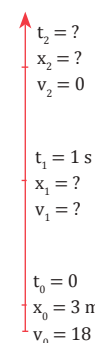
### Ejemplo 12

Desde una altura de 3 m, un chico pateo verticalmente hacia arriba una pelota con una velocidad inicial de 18 m/s.

a. Hallamos la velocidad de la pelota 1 s después del lanzamiento y su posición en este instante.

b. Determinamos el tiempo que tarda en detenerse.

— **Datos:** a. Para hallar la velocidad en el instante  $t_1 = 1 \text{ s}$ , aplicamos las ecuaciones del MRUA con aceleración  $a = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$ .



$$v = v_0 - g \cdot t$$

$$v = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ s} = 8,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La posición de la pelota en este instante es:

$$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$x = 3 \text{ m} + 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1 \text{ s} - \frac{1}{2} 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1 \text{ s})^2$$

$$x = 16,1 \text{ m}$$

b. Tal como hemos tomado el sistema de referencia,  $v$  será positiva cuando la pelota esté subiendo y negativa cuando baje.

En el punto de altura máxima  $v$  será cero.

Para calcular en qué instante ocurre esto, sustituimos  $v = 0$  en la ecuación de la velocidad.

$$v = v_0 - g \cdot t$$

$$0 = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t$$

$$t = \frac{18 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,84 \text{ s}$$

Desde el suelo, lanzamos verticalmente y hacia arriba una pelota con una velocidad de 72 km/h.

a. **Determina** el tiempo que tarda la pelota en alcanzar la altura máxima.

b. **Calcula** la altura máxima que alcanza la pelota.

— Datos:

$$72 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\begin{array}{l} \uparrow t = ? \\ x = ? \\ v = 0 \\ t_0 = 0 \\ x_0 = 0 \text{ m} \\ v_0 = 20 \text{ m/s} \end{array}$$

a. En el instante que alcanza la altura máxima, se cumple que  $v = 0$ .

$$\begin{aligned} v &= v_0 - g \cdot t \\ 0 &= 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t \\ t &= \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,04 \text{ s} \end{aligned}$$

b. Sustituyendo el tiempo obtenido en la ecuación del espacio, obtendremos la altura máxima.

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2 \\ x &= 3 \text{ m} + 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1 \text{ s} - \frac{1}{2} 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1 \text{ s})^2 \\ x &= 20,41 \end{aligned}$$

23. Los datos recogidos en la siguiente tabla corresponden a un móvil que inicia un MRUA:

t (s)	0	1	2	3	4	5
x(m)	0	1,5	6	13,5	24	37,5

a. **Determina** la aceleración.

b. **Construye** las gráficas  $v - t$  y  $x - t$  del movimiento.

24. Un autocar que circula a 81 km/h frena uniformemente con una aceleración de  $-4,5 \text{ m/s}^2$ .

a. **Determina** cuántos metros recorre hasta detenerse.

b. **Representa** las gráficas  $v - t$  y  $x - t$ .

25. Razona por qué un objeto que cae a la calle desde una ventana efectúa un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

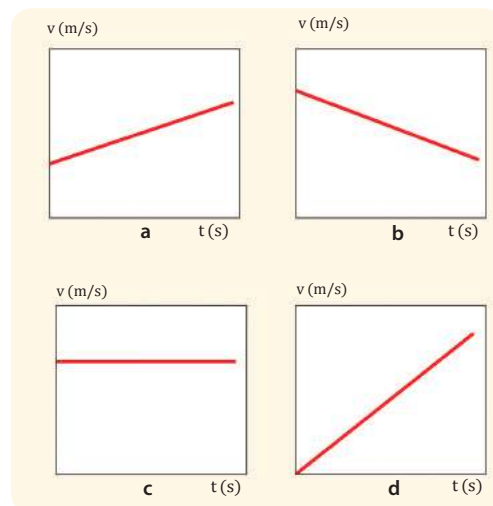
26. Desde la boca de un pozo de 50 m de profundidad, ¿a qué velocidad hay que lanzar una piedra para que llegue al fondo en 2 s? Supón nulo el rozamiento con el aire.

27. Dejamos caer un objeto desde lo alto de una torre y medimos el tiempo que tarda en llegar al suelo, que resulta ser de 2,4 s. **Calcula** la altura de la torre.

28. Lanzamos verticalmente hacia arriba un objeto desde una altura de 1,5 m y con una velocidad inicial de 24,5 m/s.

**Determina** la posición y la velocidad en los instantes siguientes: a. 0 s; b. 1 s; c. 2 s.

29. A continuación, aparecen diversas gráficas velocidad-tiempo. **Indica** a qué clase de movimiento corresponde cada una y describe el comportamiento concreto del móvil en cada caso.



### 3.3. Movimiento circular uniforme

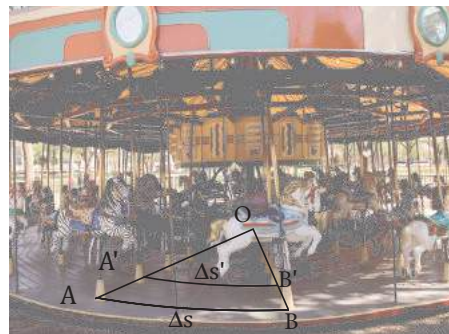
En nuestra vida cotidiana existen muchos movimientos en los que un móvil se desplaza siguiendo una trayectoria con forma de circunferencia. Por ejemplo, una rueda, un tiovivo, una noria, las cuchillas de una batidora. Este movimiento recibe el nombre de **movimiento circular**.

Ejemplo 14

En la atracción de feria de la imagen, el centro de giro coincide con el origen del sistema de referencia.

Observa que, en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , un caballo situado en la periferia se traslada desde la posición A hasta la posición B. En este mismo intervalo de tiempo, otro caballo más próximo al centro de giro se traslada desde A' hasta B'.

Ambos objetos han recorrido distancias diferentes en el mismo tiempo, lo que significa que sus velocidades son distintas. Sin embargo, el ángulo girado es el mismo.



#### Y TAMBIÉN:



Llamamos **radián** (rad) al ángulo ( $\Delta\phi$ ) que comprende un arco de circunferencia ( $\Delta s$ ) de longitud igual al radio ( $r$ ) de esta:

$$\Delta s = r$$

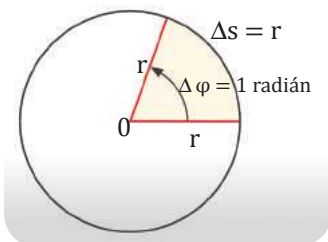
$$\Delta\phi = 1 \text{ rad}$$

Como la longitud de la circunferencia es:

$$\Delta s = L = 2\pi r, \text{ obtenemos que:}$$

$$\Delta\phi = 360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

Es decir, 1 vuelta =  $2\pi$  radianes.

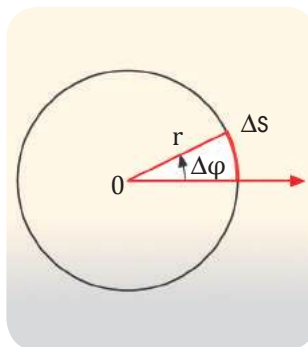


Llamamos **período** T al tiempo que emplea un móvil en dar una vuelta completa a la circunferencia.

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

En el movimiento circular se utilizan dos magnitudes diferentes para medir la velocidad: la **velocidad lineal** y la **velocidad angular**.

Velocidad lineal, $v$	Velocidad angular, $\omega$
Se define como el cociente entre la distancia recorrida por el móvil sobre la circunferencia y el intervalo de tiempo empleado.	Se define como el cociente entre el ángulo girado por el radio en que se sitúa el móvil y el intervalo de tiempo empleado.
$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\text{arco recorrido}}{\text{tiempo empleado}}$	$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\text{ángulo girado}}{\text{tiempo empleado}}$
Su unidad en el SI es el metro por segundo, m/s.	Su unidad en el SI es el radián por segundo, rad/s.



Veamos ahora qué relación hay entre la velocidad lineal y la velocidad angular.

La longitud del arco recorrido ( $\Delta s$ ) y su ángulo ( $\Delta\phi$ ) medido en radianes, se relacionan mediante la distancia al centro o radio,  $r$ .

$$\Delta s = \Delta\phi \cdot r$$

Si dividimos esta expresión por  $\Delta t$ , obtenemos:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta\phi \cdot r}{\Delta t} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \cdot r \quad \boxed{v = \omega \cdot r}$$

La velocidad lineal es igual a la velocidad angular multiplicada por el radio. En un movimiento circular, la velocidad lineal de cada punto del móvil depende de la distancia al centro de giro. En cambio, la velocidad angular es idéntica para todos los puntos del móvil.

■ Tabla 11.

Un importante caso particular de movimiento circular es aquel en que el ángulo girado,  $\Delta\phi$ , aumenta de manera uniforme.

Un móvil se desplaza con un **movimiento circular uniforme (MCU)** cuando su trayectoria es circular y su velocidad angular se mantiene constante, en este caso el radio vector de posición describe ángulos iguales en iguales intervalos de tiempo.

Un ciclista da 19 vueltas a una pista circular de 48 m de radio en 5 minutos con velocidad angular constante. **Calcula:**

- La velocidad angular, en rad/s.
- La velocidad lineal.

—Datos:  $r = 48 \text{ m}$   $\Delta\varphi = 19 \text{ vueltas}$   $\Delta t = 5 \text{ min}$

- La velocidad angular es el cociente entre el ángulo girado y el tiempo empleado.

$$\omega = \frac{19 \text{ vueltas}}{5 \text{ min}} = 3,8 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}}$$

La expresaremos en rad/s. Para ello, tendremos en cuenta que una vuelta equivale a  $2\pi$  radianes.

$$\omega = 3,8 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ vuelta}} = 0,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

- La velocidad lineal del ciclista se calcula multiplicando la velocidad angular por el radio.

$$v = \omega \cdot r = 0,4 \text{ rad/s} \cdot 48 \text{ m} = 19,2 \text{ m/s}$$

## Ecuación del MCU

La ecuación del movimiento circular uniforme se deduce de la definición de la velocidad angular.

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \Rightarrow \Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot (t - t_0)$$

Si comenzamos a contar el tiempo cuando el móvil se encuentra en la posición inicial, es decir,  $t_0 = 0$ , resulta:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot t$$

Esta expresión constituye la **ecuación del movimiento circular uniforme** y nos da el valor del ángulo girado por el móvil en cualquier instante.

### Y TAMBIÉN:

La ecuación del MCU es igual a la del MRU si sustituimos la posición  $x$  por el ángulo  $\varphi$  y la velocidad lineal  $v$  por la velocidad angular  $\omega$ . La gráfica  $v$ - $t$  del MCU también es igual a la gráfica  $x$ - $t$  del MRU.

La rueda moscovita de un parque de atracciones gira uniformemente a razón de 2,5 vueltas por minuto.

**Calcula** el número de vueltas que da en 5 min.

—Datos:  $\omega = 2,5 \text{ vueltas/min}$   $t = 5 \text{ min}$   $\varphi_0 = 0$

Aplicamos la ecuación del MCU para un tiempo de 5 min:  $\varphi = \omega \cdot t = 2,5 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}} \cdot 5 \text{ min} = 12,5 \text{ vueltas}$

La rueda moscovita da 12,5 vueltas en 5 min.

30. **Pon** tres ejemplos de movimientos circulares que se puedan observar en la vida cotidiana.

31. Dos amigos suben en un carrusel. Carlos se sienta en un elefante situado a 5 m del centro, y Antonio escoge un auto de bomberos situado a solo 3,5 m del centro. Ambos tardan 4 min en dar 10 vueltas.

- ¿Se mueven con la misma velocidad lineal? ¿Y con la misma velocidad angular? Razona.
- Calcula** la velocidad lineal y la velocidad angular de ambos.

32. La rueda de una bicicleta tiene 30 cm de radio y gira uniformemente a razón de 25 vueltas por minuto. **Calcula:**

- La velocidad angular, en rad/s.
- La velocidad lineal de un punto de la periferia de la rueda.

33. Un satélite **describe** un movimiento circular uniforme alrededor de la Tierra. Si su velocidad angular es de  $7 \cdot 10^{-4} \text{ rad/s}$ , **calcula** el número de vueltas que da en un día.



## A

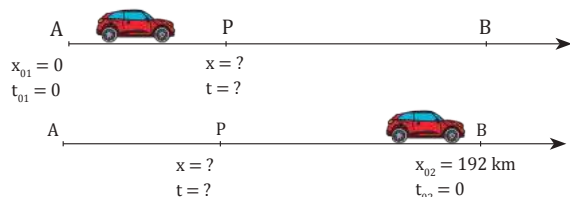
Dos automóviles salen al mismo tiempo de dos ciudades, A y B, separadas por una distancia de 192 km. El primer automóvil sale de A hacia B a 75 km/h. El segundo sale de B hacia A a 85 km/h.

a. **Calcula** en qué punto y en qué instante se encuentran.

b. **Representa** en una gráfica posición-tiempo el movimiento de los dos vehículos.

Solución

— Datos :



— Escribimos las ecuaciones de los dos movimientos tomando la ciudad A como origen del sistema de referencia. Expresaremos las posiciones en kilómetros y el tiempo en horas.  $x = x_0 + v \cdot t$

Automóvil 1:  $x_1 = 0 + 75 \cdot t$ ;  $x_1 = 75 \cdot t$

Automóvil 2:  $x_2 = 192 + (-85) \cdot t$ ;  $x_2 = 192 - 85 \cdot t$

a. Los dos vehículos se encuentran cuando sus posiciones coinciden, es decir:

$$x_1 = x_2 = x; 75 t = 192 - 85 t$$

$$75 t + 85 t = 192; 160 t = 192; t = \frac{192}{160} = 1,2 \text{ h}$$

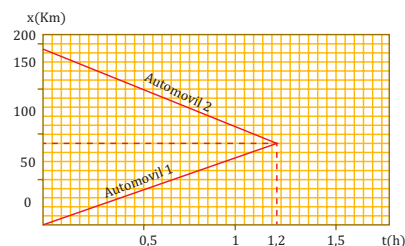
Los dos vehículos se encuentran 1,2 h después de su salida.

Para saber qué posición ocupan en este instante, sustituimos el valor de t en una ecuación cualquiera del movimiento. Por ejemplo:

$$x = 75 \cdot t = 75 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 1,2 \text{ h} = 90 \text{ km}$$

Los dos vehículos se encuentran a 90 km de la ciudad A.

b.



34. Dos chicos están separados 4,95 m. Cada uno lanza una pelota al otro. Las dos pelotas salen a la vez y se mueven horizontalmente en sentidos contrarios, la primera a 3 m/s y la segunda a 8 m/s. a. **Calcula** en qué punto y en qué instante se encuentran; b. **Representa** en una gráfica posición-tiempo el movimiento de ambas pelotas.

## B

Un automóvil circula a una velocidad constante de 15 m/s. Si las ruedas del automóvil tienen un radio de 30 cm, **calcula**:

a. La velocidad angular de las ruedas.

b. El número de vueltas que dan las ruedas en 1 min.

Solución

— Datos:  $r = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$ ;  $\varphi_0 = 0$ ;

$$v = 15 \text{ m/s}; t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

a. Un punto de la periferia de la rueda gira con una velocidad lineal igual a la velocidad del automóvil,  $v = 15 \text{ m/s}$ .

Podemos hallar la velocidad angular a partir de su relación con la velocidad lineal.

$$\varphi = \frac{v}{r} = \frac{15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,3 \text{ m}} = 50 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La velocidad angular de las ruedas es 50 rad/s.

b. Aplicamos la ecuación del movimiento circular uniforme para un tiempo de 1 min.

$$\varphi = \omega \cdot t = 50 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 60 \text{ s} = 3000 \text{ rad}$$

Pasamos los radianes a vueltas.

$$3000 \text{ rad} \cdot \frac{1 \text{ vuelta}}{2\pi \text{ rad}} = 477,5 \text{ vueltas}$$

Las ruedas dan 477,5 vueltas en 1 min.

1. Un ciclista recorre 5,4 km en 15 min a velocidad constante. Si el radio de las ruedas de su bicicleta es de 40 cm, **calcula**: a. La velocidad angular de las ruedas; b. El número de vueltas que dan las ruedas en este tiempo.

2. Una rueda moscovita de 40 m de diámetro gira con una velocidad angular constante de 0,125 rad/s. **Averigua**: a. La distancia recorrida por un punto de la periferia en 1 min; b. El número de vueltas que da la rueda moscovita en este tiempo.



### C Persecución con MRU

A una patrulla de policía que circula a  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  le comunican por radio que están robando en un polígono industrial que está a  $100 \text{ m}$  de allí. En ese mismo momento, la patrulla ve salir a dos individuos corriendo a una velocidad de  $4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ¿A qué distancia los alcanza la policía?

Solución

**COMPRENSIÓN.** Como la velocidad de la policía es mayor que la de los ladrones, la policía acabará alcanzándolos.

DATOS.  $v_p = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 27,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $d = 100 \text{ m}$ ;  
 $v_l = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**RESOLUCIÓN.** Se trata de dos MRU. Tomamos como origen de coordenadas la posición de los policías y como origen de tiempo el instante en que ven salir a los ladrones.

**Intenta** resolver el problema individualmente. Para ello, oculta la respuesta y sigue estos pasos.

Pasos

1. Escribimos la ecuación de la posición para cada uno de los móviles en unidades del SI.
2. Cuando la policía alcanza a los ladrones, coinciden con ellos en posición y tiempo. Por tanto, igualamos las dos ecuaciones para calcular el valor del tiempo.
3. Sustituimos este valor del tiempo en cualquiera de las dos ecuaciones de la posición para hallar dónde son alcanzados los ladrones.

Respuestas

1. Policía:  $x_p = x_{0p} + v_p (t - t_0) = 27,8 t$   
Ladrones:  $x_l = x_{0l} + v_l (t - t_0) = 100 + 4,0 t$
2.  $27,8 t = 100 + 4,0 t \rightarrow t = 4,20 \text{ s}$
3.  $x_p = 27,8 t = 27,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 4,20 \text{ s} = 117 \text{ m}$

Es decir, que se encuentran a  $117 \text{ m}$  del lugar del robo.

**COMPROBACIÓN.** El valor del instante de tiempo obtenido es positivo, por lo tanto, tiene sentido y los dos móviles pueden encontrarse. Además, si utilizamos la otra ecuación de movimiento, se obtiene el mismo valor de la posición:

$$x_l = 100 \text{ m} + 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 4,20 \text{ s} = 117 \text{ m}$$

3. Un ciclista entra en el tramo de carretera recto de  $12 \text{ km}$  que lleva a la meta, con una velocidad de  $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , que mantiene constante. A los  $2 \text{ min}$  entra en el tramo otro ciclista, de forma que llegan los dos juntos a la meta. ¿A qué velocidad iba este segundo ciclista?

### D Bajar la rampa

Una pelota rueda sobre una superficie horizontal a  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a lo largo de  $2 \text{ m}$ , hasta alcanzar una rampa de  $5 \text{ m}$  de longitud por la que desciende en  $2 \text{ s}$ . **Calcula:** a. la aceleración con la que baja por la rampa; b. la velocidad al final de la rampa; c. el tiempo total empleado.

Solución

**COMPRENSIÓN.** Se trata de un movimiento en el plano. Dado que la posición varía con el tiempo en las dos componentes, también habrá dos componentes en la velocidad.

DATOS.  $v_0 = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $\Delta x_1 = 2 \text{ m}$ ;  $\Delta x_2 = 5 \text{ m}$ ;  $\Delta t = 2 \text{ s}$

**RESOLUCIÓN.**

- a. Para calcular la velocidad instantánea, consideramos la posición de la pelota en un instante de tiempo,  $t$ , y otro muy cercano,  $t + \Delta t$ .

$$\Delta x_2 = v_0 \Delta t_2 + \frac{1}{2} a (\Delta t_2)^2; \quad a = \frac{2(\Delta x_2 - v_0 \Delta t_2)}{(\Delta t_2)^2}$$

$$a = \frac{2(5 \text{ m} - 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2 \text{ s})}{(2 \text{ s})^2} = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

- b. Calculamos la velocidad con que la pelota llega al final de la rampa mediante la ecuación correspondiente del MRUA:

$$v = v_0 + a \Delta t_2 = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} + 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 2 \text{ s} = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- c. Para determinar el tiempo total, necesitamos calcular el tiempo durante el que la pelota se mueve con MRU:

$$\Delta x_1 = v_0 \Delta t_1; \quad \Delta t_1 = \frac{\Delta x_1}{v_0} = \frac{2 \text{ m}}{2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 1 \text{ s}$$

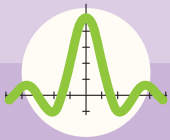
Así, el tiempo total es la suma de los tiempos empleados en recorrer cada tramo:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 1 \text{ s} + 2 \text{ s} = 3 \text{ s}$$

**COMPROBACIÓN.** Las unidades de las distintas magnitudes obtenidas son correctas. Debemos ser rigurosos en los cálculos y la expresión de los resultados obtenidos.

$$x_l = 100 \text{ m} + 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 4,20 \text{ s} = 117 \text{ m}$$

4. Un avión inicia el aterrizaje. Si al tocar el suelo aplica una desaceleración de  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  y necesita  $100 \text{ m}$  para detenerse, **calcula:**
  - a. ¿Con qué velocidad toca pista?
  - b. ¿Qué tiempo necesita para detenerse?
5. Un automóvil recorre  $15 \text{ km}$  a  $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Después, reduce su velocidad durante  $5 \text{ km}$  hasta los  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  y se para al cabo de  $2,3 \text{ s}$  de alcanzar esta velocidad. **Calcula** el tiempo total y la distancia total recorrida.



# Ejercicios y problemas

## 1 ¿Que es el movimiento?

- Con una cinta métrica, mide las dimensiones de tu habitación. En una hoja cuadrículada **dibuja** su plano a escala (la planta). **Fija** el origen de los ejes de coordenadas en un punto cualquiera de la habitación y anota las coordenadas de los extremos de tu cama, de tu armario y de tu mesa de estudio.
- Explica** la diferencia entre movimiento y reposo.
- Indica** en cuál de las siguientes situaciones existe movimiento respecto del observador:
  - Un pasajero dentro de un avión mira el ala del avión.
  - El mismo pasajero contempla la ciudad desde la que ha despegado el avión.
  - Un niño sentado en un auto de una atracción de feria ve a su amigo sentado a su lado.
  - Los padres del niño de la atracción de feria lo observan a él y a su amigo, parados de pie, frente a la atracción.
- ¿En qué tipo de trayectorias el desplazamiento coincide con la trayectoria entre dos puntos? **Pon** dos ejemplos.
- La siguiente tabla corresponde al desplazamiento de un pez en el mar:

Tiempo (s)	0	10	20	30	40
Posición (m)	0	27	58	87	116

- **Calcula** la distancia recorrida entre los instantes:
- $t_1 = 10$  s y  $t_3 = 30$  s
  - $t_2 = 20$  s y  $t_4 = 40$  s
- Describe** alguna situación que hayas vivido en la que no supieras si estabas en movimiento o no.
  - Un ascensor sube desde la planta cero de un edificio hasta el quinto piso. Seguidamente, es llamado al primer piso para, a continuación, bajar al estacionamiento que está en la primera planta del subterráneo del edificio.

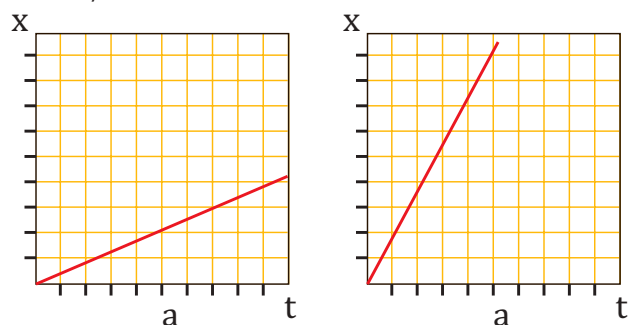
- **Representa** gráficamente cuál ha sido: la trayectoria y el desplazamiento del ascensor.
- Busca** información sobre la longitud y la latitud terrestres. ¿Son coordenadas cartesianas?
  - Un año luz se define como la distancia que recorre la luz en el vacío en el período de tiempo de un año y equivale a  $9,4608 \cdot 10^{15}$  m. **Indica** si se trata de una unidad de longitud o de tiempo. **Expresa**, en notación científica, la distancia en metros de estas estrellas al Sol: Próxima Centauri, situada a 4,22 años luz del Sol; Tau Ceti, a 11,90 años luz, y Sigma Draconis, a 18,81 años luz del Sol.

## 2 La rapidez en el cambio de posición

- Explica** la diferencia entre velocidad media y velocidad instantánea.
- El Thrust SSC es un vehículo terrestre que en 1997 superó la velocidad del sonido. Si logró recorrer 1 366 m en 4 s, ¿cuál fue su velocidad media en este intervalo?
 

— **Exprésala** en kilómetros por hora.

— ¿Cuánto tiempo tardó en recorrer un kilómetro?
- Las siguientes gráficas representan el movimiento de dos móviles. Razona cuál de ellos se mueve a mayor velocidad:



- Un móvil parte del origen del sistema de referencia con una velocidad constante de 25 m/s en línea recta. **Representa** la gráfica posición-tiempo.
- ¿Cuáles son las características del movimiento rectilíneo uniforme? ¿Cómo es el vector velocidad en este movimiento?
- El animal acuático más veloz es el pez vela que alcanza los 109 km/h. ¿Cuánto tiempo tardará en recorrer 1 435 metros?

16. Un auto se desplaza por una carretera recta a una velocidad de 85 km/h. Al cabo de 8 min, ¿qué distancia habrá recorrido, en metros?
17. Tres atletas participan en unas olimpiadas. El primero recorre 10 km en 27 min 40 s, el segundo recorre 100 m en 9,93 s y el tercero recorre 1 500 m en 3 min 32 s. ¿Cuál de ellos corre con mayor rapidez?
18. La siguiente tabla muestra los datos del movimiento de un atleta en una carrera de 100 m lisos:

Tiempo (s)	0	3,58	5,61	7,72	9,86
Posición (m)	0	25	50	75	100

- **Calcula** la velocidad media entre los instantes:  
a.  $t_0 = 0$  s y  $t_2 = 5,61$  s; b.  $t_2 = 5,61$  s y  $t_4 = 9,86$  s.
19. Un patinador sale de la posición  $x_0 = 20$  m en el instante  $t_0 = 0$  y se desplaza con una velocidad constante de 20 m/s en sentido positivo. Otro patinador sale en su persecución 2s más tarde desde la posición  $x_0 = 0$  a una velocidad de 30 m/s. **Calcula** cuándo y dónde el segundo patinador alcanzará al primero.

### 3 Cambios de velocidad

20. ¿Cuáles son las características del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado?
21. **Indica** los signos de  $v$  y  $a$  en los siguientes casos si hemos tomado el sentido positivo del sistema de referencia hacia arriba:
- Un objeto es lanzado verticalmente y hacia arriba.
  - Un objeto es lanzado verticalmente y hacia abajo.
22. Un tren que circula a 90 km/h frena con una aceleración igual a  $22 \text{ m/s}^2$  al acercarse a la estación. **Explica** el significado del signo menos en la aceleración. **Calcula** el tiempo que tarda en detenerse.
23. Un auto parte del reposo. La siguiente tabla presenta sus posiciones en diferentes instantes:

t (s)	0	1	2	3	4
x (m)	0	2	8	18	32

- Dibuja** la gráfica posición-tiempo.
- Calcula** la aceleración y la velocidad del auto al cabo de 10 s.

24. ¿Cuál es la diferencia entre velocidad lineal y velocidad angular en un movimiento circular uniforme?
25. Las aspas de un ventilador giran uniformemente a razón de 90 vueltas por minuto. **Determina**:
- Su velocidad angular, en rad/s;
  - La velocidad lineal de un punto situado a 30 cm del centro;
  - El número de vueltas que darán las aspas en 5 min.

26. **Explica** las diferencias fundamentales entre los movimientos MRU, MRUA y MCU.
27. Un auto aumenta uniformemente su velocidad de 59,4 km/h a 77,4 km/h en 4 s.

**Calcula:**

- la aceleración;
  - la velocidad que tendrá 9 s después de comenzar a acelerar;
  - la distancia que recorrerá en estos 9 s.
28. ¿Cuál es la velocidad angular, en rad/s, de un disco de vinilo que gira a 33 revoluciones por minuto (rpm)?
29. **Calcula** el radio de la noria London Eye si tarda 30 minutos en dar una vuelta y las cestas se mueven a 0,26 m/s.
30. **Forma** grupos. **Busquen** información sobre las señales de tránsito y **elaboren** un informe ilustrado donde se clasifiquen:
- De prohibición
  - De obligación
  - De limitación de velocidad
  - De prioridad
- A continuación, **escojan** una de las señales de cada grupo y **describan** una situación en que se deba respetar dicha señalización.



31. Las aspas de un molino giran con velocidad angular constante. Si dan 90 vueltas por minuto, calcula: a. La velocidad angular en rad/s; b. La velocidad lineal de un punto de las aspas que se encuentra a 0,75 m del centro de giro.
32. Un disco de 15 cm de radio gira a razón de 33 vueltas cada minuto. **Calcula:** a. La velocidad angular en rad/s; b. La velocidad lineal de un punto de la periferia; c. El número de vueltas que da el disco en 5 min.
33. Una rueda de 40 cm de radio gira a 42 rpm. **Calcula:** a. La velocidad angular en rad/s; b. La aceleración normal de un punto de la periferia; c. El número de vueltas que da la rueda en 4 min
34. Un ciclista recorre 10 260 m en 45 min a velocidad constante. Si el diámetro de las ruedas de su bicicleta es 80 cm, **calcula:**
- La velocidad angular de las ruedas.
  - El ángulo girado por las ruedas en ese tiempo.
35. Un disco de 15 cm de radio, inicialmente en reposo, acelera uniformemente hasta alcanzar una velocidad angular de 5 rad/s en 1 min. **Calcula:**
- La aceleración angular del disco.
  - La velocidad lineal de un punto de la periferia a los 25 s de iniciarse el movimiento.
  - La aceleración tangencial de un punto del borde del disco.
  - El número de vueltas que da el disco en 1 min.
36. Un disco de 15 cm de radio, inicialmente en reposo, acelera uniformemente hasta alcanzar una velocidad angular de 5 rad/s en 1 min. **Calcula:**
37. Desde una cierta altura se lanzan dos objetos con igual velocidad, uno hacia arriba y otro hacia abajo. **Justifica** si llegarán al suelo con la misma velocidad.
38. Desde una altura de 25 m, un tiesto cae al suelo. **Calcula** el tiempo que tarda en caer y la velocidad con la que llega al suelo.
39. Desde el borde de un pozo se deja caer a su interior un cubo. Un segundo más tarde se deja caer otro cubo desde el mismo lugar.
- Calcula** la distancia que separa a los dos cubos 2 s después de haber dejado caer el segundo, suponiendo que ninguno ha llegado aún al fondo.
  - Representa** gráficamente la velocidad y la posición de ambos cubos en función del tiempo durante los primeros 5 s de su movimiento.
40. Un montañero situado a 1200 m de altura sobre el campamento lanza una cantimplora verticalmente hacia abajo con una velocidad de 0,5 m/s. **Calcula:**
- La velocidad de la cantimplora cuando llega al campamento.
  - El tiempo que tarda la cantimplora en llegar al campamento.
41. Un joven trata de lanzar verticalmente un balón desde la acera de la calle a su hermana, que se encuentra asomada a la ventana de su casa, a 15 m de altura. **Calcula:**
- La velocidad con que debe lanzar el balón para que lo alcance su hermana.
  - El tiempo que tarda el balón en llegar a la ventana.

TIC



En la página:

<http://goo.gl/g8oKD>

podrás ver el movimiento de un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba con una determinada velocidad inicial. En este applet también verás dibujada la gráfica posición-tiempo. Cambia el valor de la posición inicial y el de la velocidad de lanzamiento, y observa cómo varía la altura máxima alcanzada. Fíjate en cómo van variando con el tiempo los vectores velocidad y aceleración. ¿Cómo es la trayectoria del móvil?

42. Desde el suelo se lanza verticalmente y hacia arriba una pelota. A través de una ventana situada en el tercer piso, a 9 m del suelo, un vecino la ve pasar con una velocidad de 5 m/s. **Determina:**

- La velocidad inicial con la que fue lanzada.
- La altura máxima que alcanza.
- El tiempo que tarda en llegar a la ventana.

43. A una patrulla de policía que circula a  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  le comunican por radio que están robando en un polígono industrial que está a 100 m de allí. En ese mismo momento, la patrulla ve salir a dos individuos corriendo a una velocidad de  $4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ¿A qué distancia los alcanza la policía?

44. Un ciclista entra en el tramo de carretera recto de 12 km que lleva a la meta con una velocidad de  $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , que mantiene constante. A los 2 min entra en el tramo otro ciclista, de forma que llegan los dos juntos a la meta. ¿A qué velocidad iba este segundo ciclista?

45. Un avión inicia el aterrizaje. Si al tocar el suelo aplica una aceleración de frenado de  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  y necesita 100 m para detenerse, **calcula:**

- ¿Con qué velocidad toca pista?
- ¿Qué tiempo necesita para detenerse?

46. Un automóvil recorre 15 km a  $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Después, reduce su velocidad durante 5 km hasta los  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  y se para al cabo de 2,3 s de alcanzar esta velocidad. **Calcula** el tiempo total y la distancia total recorrida.

47. Una pelota rueda sobre una superficie horizontal a  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a lo largo de 2 m, hasta alcanzar una rampa de 5 m de longitud por la que desciende en 2 s.

**Calcula:**

- la aceleración con la que baja por la rampa;
- la velocidad al final de la rampa;
- el tiempo total empleado.

48. Se lanza una piedra horizontalmente desde lo alto de un acantilado a una velocidad de  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . La piedra cae a tierra a una distancia de 45 m de la base del acantilado. **Calcula:** a. la altura del acantilado; b. el ángulo que la trayectoria de la piedra forma con la horizontal en el momento de impactar con el suelo.

49. Un DVD empieza a girar desde el reposo. En los primeros 4,0 s aumenta su velocidad angular de manera uniforme y da 16 vueltas completas. **Calcula** las componentes intrínsecas del vector aceleración de un punto situado a una distancia de 5,0 cm del centro 2,0 s después de iniciarse el movimiento.

50. Desde un acantilado de 100 m de altura se lanza una piedra a una velocidad de  $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  que forma un ángulo respecto de la horizontal de  $30^\circ$ . **Calcula:** a. la velocidad con que llegará al mar; b. el alcance máximo.

51. Cada ciclo del centrifugado de una lavadora dura 4,0 min. Durante los primeros 30 s el tambor acelera hasta llegar a las 800 r.p.m., velocidad que mantiene constante hasta que desacelera en los últimos 30 s para pararse. **Calcula** el número de vueltas total que ha dado el tambor en los cuatro minutos.

52. Un DVD, cuyo diámetro es de 12 cm, gira a 500 r.p.m. y tarda 3,0 s en pararse. **Calcula:** a. la aceleración angular; b. el número de vueltas completas que da antes de pararse; c. la aceleración normal y tangencial de un punto de la periferia cuando  $t = 0 \text{ s}$ .

TIC



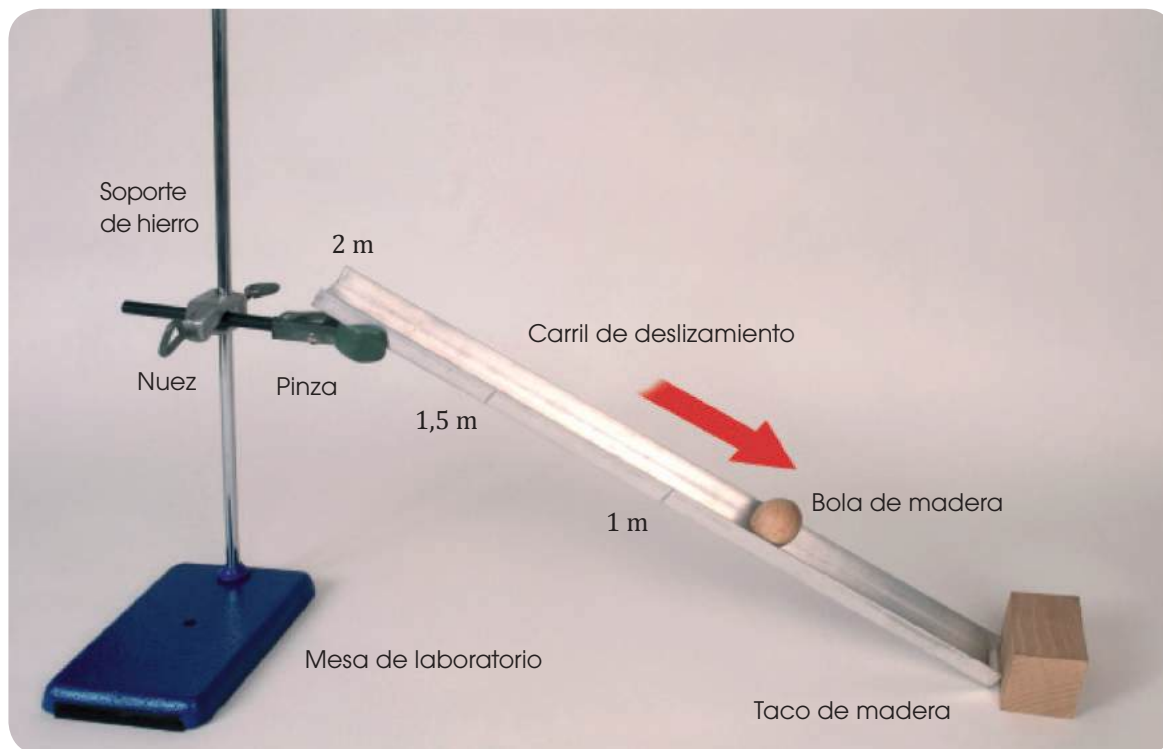
En la página:

<http://www.fislab.net>

¿Cómo se demuestra la equipolencia de dos vectores? ¿Es siempre posible esta demostración? selecciona el idioma castellano y «Applets». Elige «Dos móviles» y marca «Inicio». Podrás ver cómo dos vehículos van uno al encuentro del otro. Cambia los valores de sus aceleraciones (puede ser cero), la distancia inicial y las velocidades iniciales.

53. Una rueda efectúa un movimiento circular uniformemente acelerado. ¿Tienen todos sus puntos la misma aceleración angular?, ¿y la misma aceleración tangencial? **Justifica** tus respuestas.

## CAÍDA DE UNA BOLA POR UN PLANO INCLINADO



■ Fig. 9.

### OBJETIVO:

Comprobaremos que si se deja caer una bola de madera por un plano inclinado, esta baja a una velocidad creciente y con una aceleración constante. Es decir, se trata de un *movimiento rectilíneo uniformemente acelerado*.

Recuerda que la ecuación posición-tiempo del MRUA es:

$$x = x_0 + v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Como  $x_0 = 0$  y la bola cae sin velocidad inicial ( $v_0 = 0$ ), la ecuación queda:  $x = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ . De aquí se deduce:  $a = \frac{2x}{t^2}$

### MATERIALES:

- Dos bolas de madera de masas diferentes.
- Soporte de hierro provisto de pinza y nuez.
- Carril metálico de 2 m de longitud.
- Taco de madera.
- Cronómetro.

**PROCESOS:**

1. **Marca** en el carril las distancias: 1 m, 1,5 m y 2 m.
2. **Prepara** el montaje que aparece en la imagen. Para ello, fija la pinza a unos 28 cm de altura respecto de la mesa.
3. **Suelta** una de las dos bolas (sin lanzarla) desde el punto del carril con la marca de 2 m. En el mismo instante en que la sueltes, pon en marcha el cronómetro.
4. **Para** el cronómetro justamente cuando la bola golpee el taco de madera situado al final del carril. Anota el tiempo transcurrido, indicando hasta las décimas de segundo.
5. **Repite** el experimento cuatro veces más y anota los tiempos correspondientes.
6. **Calcula** la media aritmética de los tiempos de caída.
7. **Sigue** el mismo procedimiento y suelta la bola desde las marcas de 1,5 m y 1 m. Anota los tiempos de caída y **calcula** la media aritmética.
8. **Completa** la tabla con los valores de  $t^2$  y de la aceleración.
9. Con los datos de la tabla, representa la gráfica  $x-t^2$ .
10. **Repite** el proceso utilizando la otra bola y comprueba si los tiempos son diferentes.
11. Varía el ángulo de inclinación del carril. Para ello, puedes fijar la pinza a 32 cm y a 36 cm de altura respecto de la mesa. Vuelve a efectuar la prueba y **comprueba** si cambia la aceleración.

Recorrido (m)	Tiempo de caída (s)					Tiempo medio t (s)	$t^2 (s^2)$	Aceleración (m/s <sup>2</sup> ) $a = \frac{2x}{t^2}$
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$			
2,0								
1,5								
1,0								

■ Tabla 12.

**CUESTIONES:**

- ¿Qué condición se requiere para que un movimiento sea uniformemente acelerado?  
—**Justifica** por qué el movimiento de caída de la bola es un MRUA.
- **Describe** la forma de la gráfica  $x - t^2$ . ¿Corresponde a un MRUA? ¿Por qué?
- ¿Influye la masa de la bola en la aceleración? ¿Cómo?
- **Razona** qué ocurriría con la aceleración si repitieras el experimento, pero cada vez aumentando el ángulo de inclinación del carril hasta dejarlo prácticamente vertical.
- **Relaciona** estas pruebas con los experimentos de Galileo Galilei sobre la caída libre. **Indica** si la aceleración en la caída libre depende de la masa del cuerpo.



▼ CRITICAL SENSE

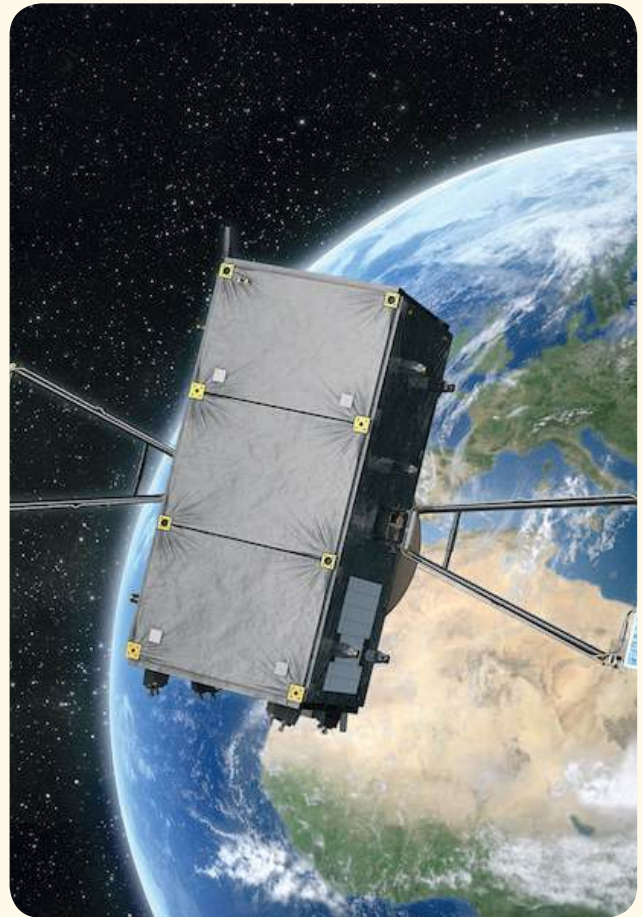
## La navegación por satélite

El GPS, del inglés *Global Positioning System*, es el sistema de navegación por satélite actualmente operativo a nivel mundial. Permite al usuario conocer su posición exacta en la superficie terrestre.

Para ello, utiliza el método de triangulación, análogo al empleado hace años por los barcos. El receptor GPS detecta una señal de radiofrecuencia y una señal de control, emitidas desde un satélite y separadas en el tiempo. Con estas señales, el receptor mide el intervalo de tiempo,  $\Delta t$ , que tardan estas ondas electromagnéticas en viajar del satélite hasta él. Entonces, el receptor calcula la distancia  $\Delta s$  que lo separa del satélite según:  $\Delta s = v \cdot \Delta t$ , donde  $v$  es la velocidad de la luz, es decir, la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. De esta forma, la posición del receptor puede ser cualquier punto de la esfera terrestre con centro en el satélite y de radio igual a  $\Delta s$ , puesto que las ondas se propagan como esferas concéntricas.

Al repetir el proceso con un segundo satélite, la posición del receptor queda delimitada al círculo resultante de la intersección de las dos esferas, cada una centrada en un satélite. Con la ayuda de un tercer satélite, la posición se reduce a dos puntos posibles, uno de ellos fuera de la Tierra, que es descartado. Así, el receptor conoce su longitud y latitud. Y, con la ayuda de un cuarto satélite, puede determinar también su altura con respecto al nivel del mar.

En el año 2005 se inició el lanzamiento de satélites del sistema de navegación europeo denominado Galileo.



<http://goc.gl/DBPA2I>

▼ SI YO FUERA



### Economista...

Elaboraría un buen plan de optimización para mi empresa y la de mi familia, que garantice un exitoso proceso de producción, donde esté implícita la reducción de gastos y costos, y se priorice la calidad del producto, todo esto gracias a los conocimientos adquiridos mediante la aplicación de modelos matemáticos, como los estudiados en esta unidad.



- Llamamos **sistema de referencia** a un punto o conjunto de puntos respecto al cual se describe el movimiento de un cuerpo.

— Un cuerpo está en **movimiento** si cambia de posición con respecto al sistema de referencia; en caso contrario, decimos que está en **reposo**.

- Llamamos **posición** de un móvil al punto de la trayectoria que este ocupa en un momento dado.

- Llamamos **trayectoria** a la línea formada por los sucesivos puntos que ocupa un móvil en su movimiento.

- El **vector desplazamiento**, entre dos puntos de la trayectoria, es el vector que une ambos puntos.

- La **distancia recorrida** en un intervalo de tiempo es la longitud, medida sobre la trayectoria, que existe entre la posición inicial y la posición final del móvil en dicho intervalo.

$$\Delta s = s - s_0$$

- La **velocidad** de un móvil representa la rapidez con que este cambia de posición.

— Llamamos **velocidad media** al cociente entre la distancia recorrida por el móvil y el tiempo empleado en recorrerla.

$$V_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

— Llamamos **velocidad instantánea** a la velocidad que tiene el móvil en un instante determinado.

— La unidad de velocidad en el SI es el **metro por segundo** (m/s).

- Un móvil se desplaza con **movimiento rectilíneo uniforme (MRU)** si sigue una trayectoria rectilínea y su velocidad es constante en todo momento.

**Ecuación del MRU:**  $x = x_0 + v \cdot t$

- La **aceleración** de un móvil representa la rapidez con que este varía su velocidad.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

— La unidad de aceleración en el SI es el **metro por segundo al cuadrado** (m/s<sup>2</sup>).

- Un móvil se desplaza con **movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)** si sigue una trayectoria rectilínea y su aceleración es constante y no nula.

**Ecuaciones del MRUA:**  $v = v_0 + a \cdot t$

$$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

- Un móvil se desplaza con **movimiento circular uniforme (MCU)** cuando su trayectoria es circular y su velocidad angular es constante.

**Ecuación del MCU:**  $\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot t$

- **Velocidad lineal** ( $v$ ) y **velocidad angular** ( $\omega$ )

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\text{arco recorrido}}{\text{tiempo}}; \omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{\text{ángulo girado}}{\text{tiempo}}$$

$$v = \omega \cdot r$$

## Para finalizar

- 1 Lanzamos una pelota verticalmente hacia arriba con una velocidad de 6 m/s. Un segundo después lanzamos otra pelota con una velocidad de 4 m/s en la misma dirección y sentido.

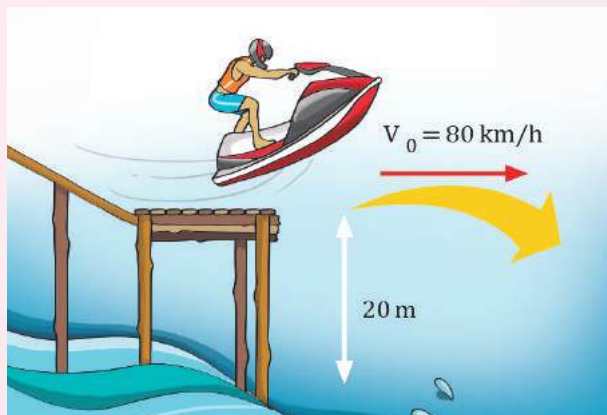
**Calcula** a qué distancia del suelo se encuentran y cuánto tiempo tardan en encontrarse.

- 2 Un barquero desea cruzar un río de 100 m de ancho con una barca cuyo motor desarrolla una velocidad de 3 m/s perpendicularmente a una corriente de 1 m/s.

**Calcula:**

- El tiempo que tarda en atravesar el río;
- La velocidad de la barca;
- La distancia que recorre la barca.

- 3 El esquiador de la figura salta desde una altura de 20 m con una velocidad horizontal de 80 km/h. **Calcula:** a. el tiempo que está en el aire; b. el alcance que consigue, medido desde el trampolín.



- 4 Un joven lanza piedras horizontalmente desde lo alto de un acantilado de 25 m de altura. Si desea que choquen contra un islote que se encuentra a 30 m de la base del acantilado, **calcula:** a. la velocidad con que debe lanzar las piedras; b. el tiempo que tardan en chocar contra el islote.

- 5 En unos Juegos Olímpicos un lanzador de jabalina consigue alcanzar una distancia de 90 m con un ángulo de inclinación de 45°.

**Calcula:**

- La velocidad de lanzamiento;
- El tiempo que la jabalina estuvo en el aire.

- 6 Se dispara un proyectil desde el suelo con una velocidad inicial de 540 m/s y un ángulo de inclinación de 30° respecto a la horizontal.

**Calcula:**

- El alcance del proyectil;
- La posición del proyectil 3 s después del lanzamiento.

- 7 Un auto toma una curva de radio 250 m a una velocidad constante de 73,8 km/h. **Determina:**

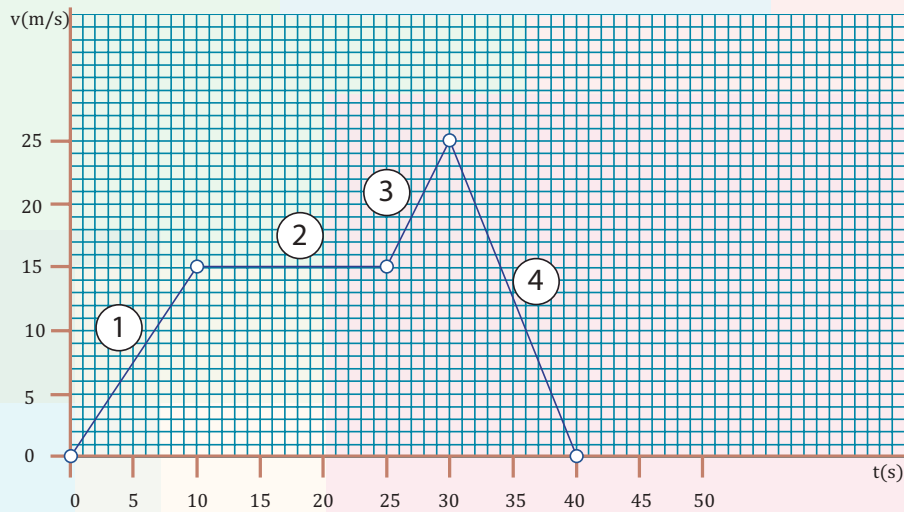
- La velocidad angular;
- La aceleración normal.

- 8 Una rueda de 15 cm de radio se pone en movimiento con una aceleración angular de 0,2 rad/s<sup>2</sup>.

**Halla:**

- La velocidad angular a los 10 s;
- Las vueltas que da la rueda durante ese tiempo;
- El tiempo que tarda la rueda en dar 20 vueltas.

- 9 Un vehículo efectúa un movimiento rectilíneo descrito por la siguiente gráfica velocidad-tiempo.



- 10 **Indica** para cada tramo:

- El tipo de movimiento;
- La aceleración;
- La distancia recorrida.

- b. **Programa** la fórmula anterior en una hoja de cálculo y **elabora** una tabla de recorridos de frenado para velocidades de módulo 10 m/s, 20 m/s... hasta 120 m/s.

- c. **Prepara** en la hoja de cálculo una casilla en la cual, a partir del módulo de una velocidad cualquiera, se obtenga automáticamente el recorrido de frenado.

- 11 **Utiliza** las fórmulas de MRUA:

- Deduce** una fórmula que indique el espacio de frenado de un vehículo en un MRUA con una aceleración de  $6 \text{ m/s}^2$  de módulo y una velocidad inicial  $v_0$ .

12

- Investiga** elementos de seguridad de un auto clasificándolos en elementos que evitan accidentes y elementos que minimizan sus consecuencias.

Preséntalos en una exposición mediante un programa de presentación.

## EVALUACIÓN

Reflexiona y **autoevalúate** en tu cuaderno:

- Trabajo personal

¿Cómo ha sido mi actitud frente al trabajo?

¿He cumplido mis tareas?

¿Qué aprendí en esta unidad?

- Trabajo en equipo

¿He compartido con mis compañeros y compañeras?

¿He respetado las opiniones de los demás?

- Escribe** la opinión de tu familia.

- Pide** a tu profesor o profesora sugerencias para mejorar y **escribelas**.



# 2

# Fuerzas



## CONTENIDOS:

### 1. Las fuerzas y su equilibrio

- 1.1. Tipos de fuerzas
- 1.2. La fuerza como vector
- 1.3. El peso de los cuerpos
- 1.4. Ley de Hooke
- 1.5. Composición de fuerzas
- 1.6. Descomposición de fuerzas
- 1.7. Equilibrio de fuerzas

### 2. Las leyes de Newton

- 2.1. Primera ley de Newton: ley de la inercia
- 2.2. Segunda ley de Newton: ley fundamental de la dinámica
- 2.3. Tercera ley de Newton: ley de acción y reacción

### 3. Aplicaciones de las leyes de Newton

- 3.1. Fuerza normal
- 3.2. Fuerzas de rozamiento
- 3.3. Dinámica del movimiento circular

### 4. Fuerzas gravitatorias

- 4.1. Modelos del universo
- 4.2. Gravitación universal
- 4.3. Movimiento de planetas y satélites uniformemente acelerado



### Noticia

La órbita de la Luna es la trayectoria que sigue esta en su movimiento alrededor de la Tierra. Esta trayectoria se describe como una elipse de baja excentricidad.

En el siguiente vídeo se muestra una animación del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra.

<https://goo.gl/OTZu4m>

### EN CONTEXTO

Observa el vídeo y responde:

- ¿Qué fuerzas actúan sobre la Luna en su movimiento alrededor de la Tierra.
- Dibuja en tu cuaderno el sistema Tierra-Luna y representa las fuerzas que actúan sobre los dos astros.
- De acuerdo con la tercera ley de Newton, la fuerza que ejerce la Tierra sobre la Luna, es igual en módulo y dirección pero de sentido contrario a la que ejerce la Luna sobre la Tierra. ¿Cómo explicas el hecho de que sea la Luna la que gire alrededor de la Tierra?

# I. LAS FUERZAS Y SU EQUILIBRIO

La existencia de fuerzas en la naturaleza es un hecho bien conocido y fácil de observar. El viento mueve las hojas de los árboles, la corriente de un río arrastra un tronco, la red de una portería detiene un balón... Nosotros mismos ejercemos continuamente fuerzas muy diversas: al sostener un libro, al tirar de la puerta.

Sin embargo, debemos precisar: ¿cómo debe ser una acción para que sea calificada como fuerza?, ¿qué efectos debe producir?

Por ejemplo, una fuerza puede...

... poner en movimiento un cuerpo que estaba en reposo.	... detener un cuerpo que estaba en movimiento.	... cambiar la rapidez o la dirección de un movimiento.	... deformar un cuerpo.
			

■ Tabla 1.

## Y TAMBIÉN:



La **masa** es una medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo, es una magnitud escalar, es una propiedad extrínseca de los cuerpos que determina la medida de la masa inercial y de la masa gravitacional. La unidad utilizada para medir la masa en el Sistema Internacional de Unidades es el kilogramo (kg).

**Masa inercial.**- Es una medida de la resistencia de una masa al cambio de su estado de movimiento, en relación a un sistema de referencia inercial.

**Masa gravitacional.**- Es la medida de la capacidad de producir un campo gravitatorio. Por ejemplo la masa del sol crea un campo gravitacional que atrae a la Tierra y viceversa.

Advierte que los tres primeros efectos equivalen a alterar el estado de reposo o de movimiento de los cuerpos.

Fuerza es toda acción capaz de alterar el estado de reposo o de movimiento de los cuerpos o de producir en ellos alguna deformación. Es una magnitud Física vectorial que nos da la medida de la interacción entre los cuerpos.

La unidad de fuerza en el Sistema Internacional es el newton, cuyo símbolo es N. Esta unidad, establecida en honor del físico inglés Isaac Newton (1642-1727), se define basándose en el efecto acelerador de las fuerzas.

Un **newton** es la fuerza que debe aplicarse a un cuerpo de un kilogramo de masa para que incremente su velocidad 1 m/s cada segundo.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

Con frecuencia se utiliza otra unidad, el kilopondio, kp, cuya equivalencia con el newton es la siguiente: 1 kp = 9,8 N.

1. **Pon** tres ejemplos de fuerzas y **explica** qué efecto produce cada una de ellas.
2. **Convierte** en newtons las siguientes fuerzas: 9,6 kp - 24,3 kp - 157,8 kp - 0,8 kp.
3. Las siguientes fuerzas están expresadas en newtons. **Conviértelas** en kilopondios: 117,6 N; 284,2 N; 445,9 N.

Actividades

## 1.1. Tipos de fuerza

En la naturaleza se pueden presentar fuerzas de diversas clases:

- Fuerzas eléctricas, como las que se manifiestan entre cuerpos que tienen cargas eléctricas.
- Fuerzas magnéticas, como las que ejerce un imán sobre los objetos de hierro.
- Fuerzas gravitatorias, como aquellas fuerzas con las que la Tierra atrae los cuerpos situados a su alrededor.
- Fuerzas nucleares, como las que mantienen unidos los protones y los neutrones en el interior del núcleo atómico.

## 1.2. La fuerza como vector

Algunas magnitudes, como la fuerza quedan totalmente determinadas cuando, además de su valor o módulo, conocemos su dirección y sentido.

Los **elementos del vector fuerza** son:

- Punto de aplicación:** es el punto sobre el cual se aplica la fuerza. En el vector de la imagen, el punto O.
- Módulo:** es la intensidad de la fuerza. En el caso de la imagen, vale 3 unidades.
- Dirección:** es la recta sobre la que actúa el vector fuerza. En este caso, la recta r.
- Sentido:** indica cuál de las dos orientaciones posibles adopta la fuerza. En este caso, hacia la derecha.

## 1.3. El peso de los cuerpos

Todos los cuerpos que se hallan sobre la superficie de la Tierra o próximos a ella son atraídos con una fuerza de naturaleza gravitatoria que depende de la masa del cuerpo y llamamos peso.

Se denomina **peso** de un cuerpo a la fuerza de atracción gravitatoria que la Tierra ejerce sobre él.

## Módulo

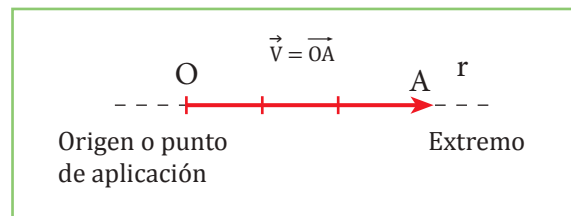
El peso es directamente proporcional a la masa del cuerpo y a la aceleración de la gravedad, g.

$$p = m \cdot g$$

A pequeñas distancias de la superficie terrestre podemos suponer que g es constante e igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

## Dirección y sentido

El peso de un cuerpo siempre se dirige hacia el centro de la Tierra. En la imagen vemos cómo se representa. Observa que se aplica sobre un punto imaginario llamado **centro de gravedad**. Si el cuerpo es homogéneo, su centro de gravedad coincide con el centro geométrico. Si no, se sitúa próximo a las partes más pesadas.



■ Elementos del vector fuerza.

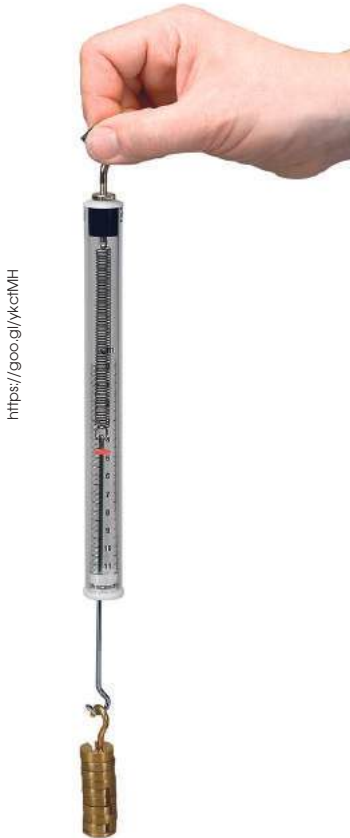


<http://goo.gl/1C6o7r>

## Y TAMBIÉN:



Son **cuerpos elásticos** aquellos que se deforman al aplicarles una fuerza y recuperan su forma original cuando cesa la fuerza que provoca la deformación.



■ Dinamómetro

## 1.4. Ley de Hooke

A Las fuerzas, además de modificar el estado de reposo o movimiento de un cuerpo, son capaces de producir deformaciones. ¿Existe alguna relación entre la intensidad de la fuerza y la deformación producida?

El físico inglés **Robert Hooke** (1635-1703) formuló en 1678 la ley conocida como *ley de Hooke*.

La deformación que sufre un **cuerpo elástico** es **directamente proporcional** a la fuerza aplicada.

Por ejemplo en un muelle, la deformación proporcional a la fuerza aplicada es el alargamiento,  $\Delta l$ .

$$F = K \cdot \Delta l = K (l - l_0)$$

La constante elástica, **K**, es característica de cada muelle y representa la fuerza necesaria para alargar este en la unidad de longitud.

La unidad de **K** en el Sistema Internacional es el newton por metro (**N/m**).

### El dinamómetro

Es un instrumento utilizado para medir la intensidad de las fuerzas que se basa en la ley de Hooke. Consiste en un tubo en cuyo interior se encuentra un muelle elástico.

El valor de la fuerza se lee en una escala graduada incorporada al aparato.

### Ejemplo 1

El muelle de un dinamómetro se alarga 12 cm cuando aplicamos sobre él una fuerza de 18 N. **Calcula** el alargamiento del muelle al aplicar una fuerza de 24 N.

—Datos:  $\Delta l = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$       $F = 18 \text{ N}$

**Aplicamos** la ley de Hooke para determinar, primero, la constante elástica del muelle y, después, el alargamiento del muelle cuando la fuerza es de 24 N.

$$F = K \cdot \Delta l$$

$$K = \frac{F}{\Delta l} = \frac{18 \text{ N}}{0,12 \text{ m}} = 150 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$\Delta l = \frac{F}{K} = \frac{24 \text{ N}}{150 \text{ N/m}} = 0,16 \text{ m}$$

## 1.5. Composición de fuerzas

En la mayoría de los casos, sobre un cuerpo no actúa una única fuerza, sino un conjunto de ellas, como en el caso de la imagen. Este conjunto de fuerzas constituye un **sistema de fuerzas** y es equivalente a una única fuerza imaginaria que llamamos *fuerza resultante*.

La **fuerza resultante** es la fuerza que produce sobre un cuerpo el mismo efecto que el sistema de todas las fuerzas que actúan sobre él, es decir, la suma vectorial de las fuerzas del sistema.

El procedimiento de cálculo de la fuerza resultante, a partir de las fuerzas componentes del sistema, se denomina **composición de fuerzas**.

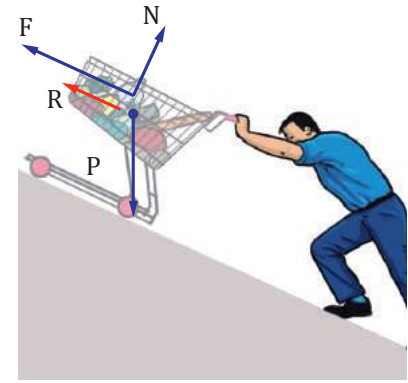


Fig. 1.

- Sobre el carrito actúan tres fuerzas ( $F$ ,  $N$  y  $p$ ) que equivalen a la fuerza resultante  $R$ .

### Ejemplo 2

Veamos cómo podemos determinar la resultante de un sistema de fuerzas concurrentes, es decir, aplicadas sobre rectas que se cortan en un punto.

#### Cálculo de la fuerza resultante (Fuerzas de la misma dirección)

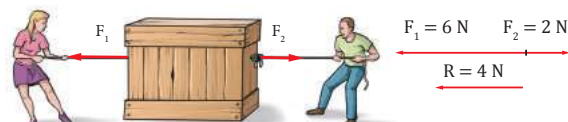
Fuerzas de la misma dirección y del mismo sentido



$$\text{Resultante } R = F_1 + F_2$$

- Módulo: la suma de los módulos de las fuerzas componentes.  
 $R = F_1 + F_2$
- Dirección: la misma que las fuerzas componentes.
- Sentido: el mismo que las fuerzas componentes.

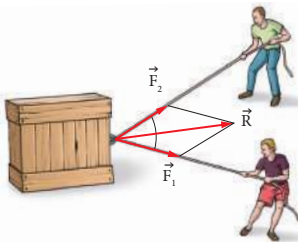
Fuerzas de la misma dirección y de sentido contrario



$$\text{Resultante } R = |F_1 - F_2|$$

- Módulo: la diferencia, en valor absoluto, entre los módulos de las fuerzas componentes.  
 $R = |F_1 - F_2|$
- Dirección: la misma que las fuerzas componentes.
- Sentido: el mismo que la fuerza de mayor módulo.

#### Cálculo de la fuerza resultante (Fuerzas angulares)



Se determina mediante la **regla del paralelogramo**: Por el extremo de cada vector fuerza trazamos una paralela al otro vector y señalamos su punto de intersección. El extremo de  $R$  es el punto de intersección, mientras que su punto de aplicación es el mismo que el de las fuerzas componentes.

En el caso particular de que las dos fuerzas aplicadas tengan direcciones perpendiculares, el módulo de  $R$  se halla aplicando el teorema de Pitágoras al triángulo indicado en la imagen.

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2$$

$$R = \sqrt{(240 \text{ N})^2 + (280 \text{ N})^2} = 368,8 \text{ N}$$

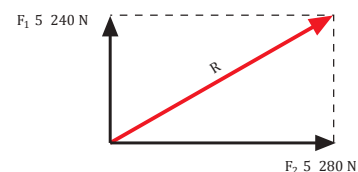


Tabla 2.

## 1.6. Descomposición de fuerzas

En ciertas ocasiones conviene descomponer una fuerza en dos componentes que, sumadas, producen sobre un cuerpo el mismo efecto que la fuerza original. Esta operación se denomina **descomposición de fuerzas**.

### Ejemplo 3

La imagen representa un cuerpo que baja por un plano inclinado sin rozamiento.

Observemos cómo se descompone el peso en dos fuerzas perpendiculares.

El peso,  $p$ , del cuerpo se descompone en las fuerzas  $p_t$  y  $p_n$ .

La componente  $p_n$  se compensa con la fuerza  $N$  ejercida por el plano inclinado, por lo que la fuerza resultante sobre el cuerpo es justamente la componente  $p_t$ .

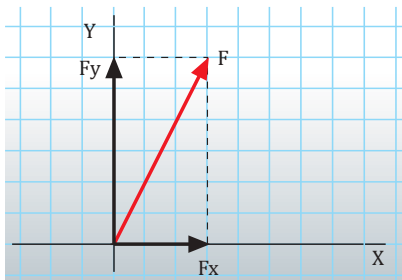
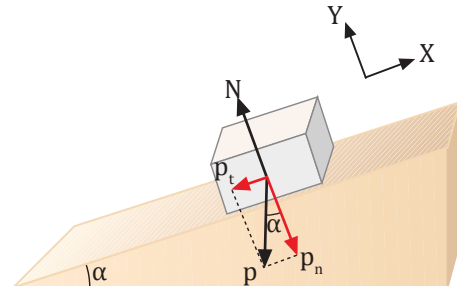


Fig. 2.



En general, toda fuerza  $F$  se puede descomponer en dos fuerzas perpendiculares  $F_x$  y  $F_y$  con la dirección de los ejes de coordenadas. El valor de las fuerzas componentes  $F_x$  y  $F_y$  se relaciona con el valor de la fuerza  $F$  mediante el teorema de Pitágoras.

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2$$

## 1.7. Equilibrio de fuerzas

Sobre el gimnasta de la fotografía actúan la fuerza de su peso y las ejercidas por las anillas.

Estas fuerzas se compensan dando lugar a una resultante nula. En esta situación se dice que hay *equilibrio de fuerzas*.

Decimos que dos o más fuerzas aplicadas a un mismo cuerpo están en **equilibrio** cuando neutralizan mutuamente sus efectos, es decir, cuando su **resultante** es nula.

### Ejemplo 4

Sandra y Antonio ejercen sobre una mesa que está en reposo las fuerzas  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$ , que se representan en la imagen. ¿Qué fuerza debe aplicar Carolina sobre la mesa para que esta permanezca en reposo? **Representa** gráficamente esta fuerza y **determina** el valor de sus componentes.

— Datos:  $\vec{F}_1 = (3 \text{ N}, 4 \text{ N})$ ;  $\vec{F}_2 = (-5 \text{ N}, -2 \text{ N})$

Sea  $\vec{F}_3 = (F_{3x}, F_{3y})$  la fuerza aplicada por Carolina. Para que la mesa permanezca en reposo, las tres fuerzas aplicadas deben estar en equilibrio.

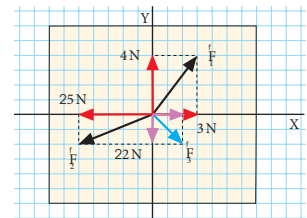
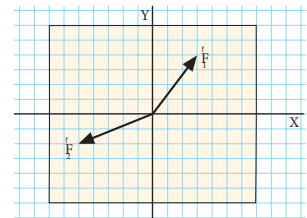
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0$$

Si descomponemos cada fuerza en sus componentes sobre los ejes, tenemos:

$$\text{Eje X: } 3 \text{ N} - 5 \text{ N} + F_{3x} = 0 \Rightarrow F_{3x} = 2 \text{ N}$$

$$\text{Eje Y: } 4 \text{ N} - 2 \text{ N} + F_{3y} = 0 \Rightarrow F_{3y} = -2 \text{ N}$$

La imagen representa la fuerza  $\vec{F}_3 = (2 \text{ N}, -2 \text{ N})$ .



## Cuerpos en equilibrio

Un equilibrista de un circo compensa las fuerzas que actúan sobre él para mantener el *equilibrio*.

De forma parecida, un arquitecto calcula todas las fuerzas existentes en el edificio que proyecta para que este se mantenga en *equilibrio* y no se derrumbe.

Un cuerpo está en **equilibrio estático** cuando está en reposo y permanece en esta situación de forma indefinida.

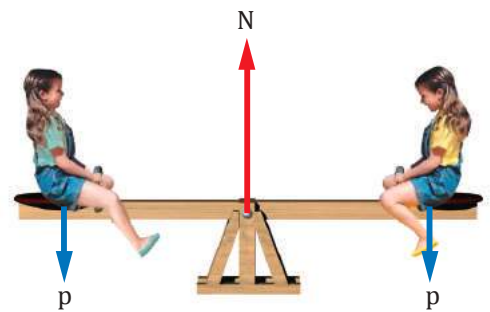
Para conocer las condiciones bajo las que un cuerpo está en equilibrio, debemos distinguir dos tipos de movimientos:

**Traslación:** todas las partículas del cuerpo efectúan el mismo desplazamiento.

**Rotación:** todas las partículas del cuerpo describen trayectorias circulares alrededor de un eje, excepto las que están situadas sobre el propio eje, que se mantienen inmóviles.

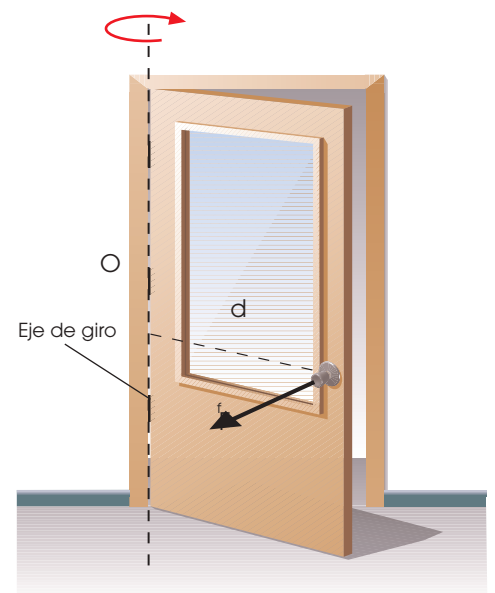
De la misma manera que una fuerza resultante produce un movimiento de traslación sobre un cuerpo, para determinar si existe una rotación, se introduce la magnitud *momento de una fuerza*.

El **momento de una fuerza** respecto a un punto es el producto de la fuerza por la distancia del punto a la recta que contiene al vector fuerza.



■ Fig. 3.

- El columpio está en equilibrio, pues las fuerzas que actúan sobre él se compensan entre sí, dando lugar a una resultante nula.



■ Fig. 4.

M = momento de la fuerza respecto al punto O

F = módulo de la fuerza

d = distancia del punto O a la recta del vector fuerza

$$M = F \cdot d$$

La unidad de medida del momento de una fuerza en el SI es el newton metro (N/m).

Un cuerpo está en **equilibrio estático** si no efectúa ningún movimiento de traslación ni de rotación.

- La condición para que no efectúe ningún movimiento de traslación es que la **resultante** de las fuerzas aplicadas sea **nula**.
- La condición para que no efectúe ningún movimiento de rotación es que el **momento resultante** de las fuerzas aplicadas sea **nulo**.

4. **Explica** cómo se calcula la fuerza resultante para fuerzas de la misma dirección y fuerzas angulares.
5. Una grúa arrastra un auto con fuerzas de 1 750 N y 1 250 N. **Dibuja** un esquema de las fuerzas y **determina** la fuerza resultante en los siguientes casos:
  - a. Las dos fuerzas tienen la misma dirección y sentido contrario.
  - b. Las dos fuerzas son perpendiculares.
6. Lidia atraviesa un río por encima de un tronco suspendido sobre el agua y cuyos extremos se apoyan en las orillas. ¿Qué fuerzas actúan sobre Lidia cuando se encuentra encima del tronco que le sirve de puente? **Dibújalas** y razona si están en equilibrio.
7. Sobre un cuerpo se ejercen dos fuerzas, de 10 N y 15 N, en la misma dirección y en sentido contrario. **Determina** el módulo, la dirección y el sentido de la fuerza que debe aplicarse para que el cuerpo esté en equilibrio.



## 2. LAS LEYES DE NEWTON

Como ya hemos visto, las fuerzas son acciones capaces de modificar el estado de reposo o de movimiento de los cuerpos. La relación que existe entre las fuerzas y el movimiento es objeto de estudio de una parte de la física que llamamos **dinámica**.

La dinámica se ocupa de:

- Determinar qué clase de movimiento producen las fuerzas cuando actúan sobre los cuerpos.
- Descubrir qué fuerzas están presentes en un cuerpo en movimiento.

El núcleo central de la dinámica lo constituyen las leyes de Newton: *ley de la inercia*, *ley fundamental de la dinámica* y *ley de acción y reacción*.

### 2.1. Primera ley de Newton: Ley de Inercia

Sabemos por experiencia que para que un cuerpo que está en reposo se ponga en movimiento tenemos que aplicar una fuerza sobre él. También sabemos que si un cuerpo se mueve con velocidad constante, es necesario aplicarle una fuerza para que se detenga.

**Observa** el caso de un niño que se columpia.



Hasta que la monitora no empuja el columpio, el niño permanece en su estado de reposo.



Una vez iniciado el movimiento, este permanecerá hasta que se aplique una fuerza para detenerlo.



Movimiento

Fuerza de rozamiento  $F_r$

■ Fig. 5.

- La fuerza de rozamiento aparece siempre que un cuerpo se desliza sobre una superficie y se opone al movimiento.

La *primera ley de Newton* resume experiencias como esta.

Un cuerpo permanece en su estado de **reposo** o de **movimiento rectilíneo** uniforme si no actúa ninguna fuerza sobre él, o bien, si la **resultante** de las fuerzas que actúan es **nula**.

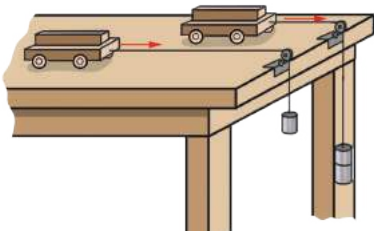
La propiedad de la materia de no poder cambiar su estado de reposo o de movimiento por sí misma recibe el nombre de inercia.

Puede parecer que la ley de la inercia está en contradicción con la vida cotidiana, porque, en situaciones normales, sobre un cuerpo siempre actúa alguna fuerza (el peso, el rozamiento...). Sin embargo, en el espacio exterior, alejada de la influencia de planetas y estrellas, una nave espacial mantendría su movimiento rectilíneo uniforme al no actuar ninguna fuerza sobre ella.

## 2.2. Segunda ley de Newton: ley fundamental de la dinámica

La primera ley de Newton nos dice qué le pasa a un cuerpo si sobre él no actúa ninguna fuerza. Ahora bien, ¿qué le pasará a un cuerpo si existe una fuerza resultante que actúa sobre él? La segunda ley de Newton resuelve esta cuestión.

**Observa** esta experiencia. Se aplica una fuerza  $F$  a un carrito en reposo. Este adquiere una aceleración  $a$  e inicia un MRUA. Fíjate en que la aceleración que adquiere depende de la fuerza aplicada.



■ Fig. 6.

F (N)	a (m/s <sup>2</sup> )	$\frac{F}{a}$ (kg)
0,25	1	0,25
0,50	2	0,25
0,75	3	0,25
1	4	0,25

■ Tabla 3.

### Y TAMBIÉN:

La masa de un cuerpo es una medida de su inercia. Cuanto mayor es la masa, mayor es la inercia, es decir, la tendencia a permanecer en el estado de reposo o de MRU.

La razón entre la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo y la aceleración que adquiere el cuerpo como consecuencia de dicha fuerza es una constante igual a la **masa** del cuerpo.

La constatación de este hecho constituye el enunciado de la **segunda ley de Newton**.

Si sobre un cuerpo actúa una **fuerza resultante**, este adquiere una **aceleración directamente proporcional** a la fuerza resultante, siendo la masa del cuerpo la **constante de proporcionalidad**.

### Ejemplo 5

Sobre un trineo de 80 kg de masa, inicialmente en reposo, se aplica una fuerza constante de 280 N.

**Calcula:**

a. La aceleración adquirida por el trineo.

— Datos:  $m = 80 \text{ kg}$      $F = 280 \text{ N}$      $t = 5 \text{ s}$

b. Aplicamos la ley fundamental de la dinámica para determinar la aceleración.

$$F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{280 \text{ N}}{80 \text{ kg}} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

c. La distancia recorrida en 5 s.

d. Hallamos la distancia recorrida en 5 s, aplicando la ecuación del MRUA. La distancia recorrida en 5 s.

$$x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 = 0 + \frac{1}{2} \cdot 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5\text{s})^2 = 43,8 \text{ m}$$

8. **Explica** ¿qué experimentará una persona que viaja de pie en un autobús urbano cuando este acelera bruscamente? ¿Y si frena?

— A partir de esta situación, razona por qué es importante llevar atado el cinturón de seguridad cuando se viaja en un automóvil.

9. Una fuerza de 64,8 N actúa sobre un cuerpo de 12 kg de masa, que inicialmente está en reposo. **Calcula:**

a. La aceleración que adquiere el cuerpo.

b. La velocidad que alcanzará en 2,5 s.

### Actividades

## 2.3. Tercera Ley de Newton: Ley de acción y reacción

Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, ¿cómo responde este segundo cuerpo? Para comprenderlo, observa estos ejemplos.

<p>Al iniciar una carrera, una nadadora aplica una fuerza contra la pared. La nadadora recibe una fuerza de la pared que la impulsa hacia delante.</p>	<p>Una rana empuja la hoja con sus ancas. La rana también recibe una fuerza que hace que se eleve en el aire.</p>

Estos ejemplos nos hacen ver que una fuerza no puede existir de forma aislada, sino que siempre va acompañada de una fuerza de reacción que actúa en sentido contrario. La tercera ley de Newton recoge este principio.

Si un cuerpo ejerce una fuerza, que llamamos **acción**, sobre otro cuerpo; este, a su vez, ejerce sobre el primero otra fuerza, que denominamos **reacción**, con el **mismo módulo** y la misma **dirección**, pero de **sentido contrario**.

### Características de las fuerzas de acción y reacción

<p>Son simultáneas</p>	<p>Se ejercen sobre cuerpos diferentes</p>	<p>A veces alguna de estas fuerzas no se aprecia</p>
<p>Una fuerza aparece como reacción a la otra, pero ambas fuerzas actúan simultáneamente.</p> <p><small><a href="http://goo.gl/ZVC9D3">http://goo.gl/ZVC9D3</a></small></p>	<p><small><a href="http://goo.gl/zlph8S">http://goo.gl/zlph8S</a></small></p> <p>Estas fuerzas, aunque son opuestas, no se anulan mutuamente, ya que cada una se aplica a un cuerpo distinto. Por eso pueden producir efectos notables sobre los cuerpos.</p>	<p><small><a href="http://goo.gl/XbVtI">http://goo.gl/XbVtI</a></small></p> <p>En ocasiones, alguno de los cuerpos no resulta acelerado por el hecho de que posee una gran masa o porque existen otras fuerzas mayores que se oponen al movimiento.</p>

■ Tabla 4.

10. Si un muchacho golpea una pelota de tenis con una raqueta, la pelota adquiere un movimiento acelerado, mientras que el muchacho no adquiere aceleración alguna.
  - Este hecho, ¿está en contradicción con la tercera ley de Newton? **Justifica** tu respuesta.
11. Una bola de billar rueda por una mesa con velocidad constante hasta chocar con otra bola que inicialmente está en reposo. En ese momento la primera bola se detiene y la segunda se pone en movimiento. **Justifica** estos hechos a partir de las tres leyes de Newton.

## 3. APLICACIONES DE LAS LEYES DE NEWTON

Como ya sabes, la dinámica estudia cómo es el movimiento de un cuerpo cuando actúa sobre él una fuerza.

Para resolver los problemas de dinámica, aplicamos las leyes de Newton. Sin embargo, previamente debemos conocer qué fuerzas actúan sobre un cuerpo y dibujarlas en un esquema.

Dos tipos de fuerzas, que aparecen frecuentemente en estos problemas y con las que debes familiarizarte, son las *fuerzas normales* y las *fuerzas de rozamiento*.

### 3.1. Fuerza normal

En la imagen de la derecha vemos un monitor situado sobre un soporte. Sobre el monitor actúa la fuerza de su peso,  $p$ . ¿Cómo puede ser, entonces, que este no caiga al suelo?

El monitor no cae porque sobre él actúa también otra fuerza,  $N$ , ejercida por el soporte, que lo sostiene.

Llamamos **fuerza normal** ( $N$ ) a la fuerza que ejerce la superficie de apoyo de un cuerpo sobre este.

La fuerza normal es una fuerza de reacción a la fuerza que el cuerpo ejerce sobre la superficie. Siempre es perpendicular (o normal) a dicha superficie, de ahí su nombre.

Ahora veremos cómo se representa la fuerza normal sobre los cuerpos en algunos casos sencillos y cómo se puede calcular su valor aplicando las leyes de Newton.



Fig. 7.

#### Ejemplo 6

**Representa** las fuerzas que actúan sobre los siguientes cuerpos y **calcula** la fuerza normal aplicando las leyes de Newton:

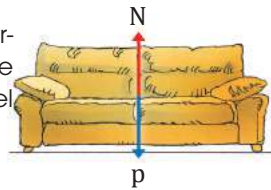
- Un sofá de 120 kg de masa que se apoya sobre una superficie horizontal.
- Un cubo de agua de 3 kg que se apoya en el suelo y sobre el que se ejerce una fuerza vertical hacia arriba de 18 N.

a. Representamos las fuerzas que actúan sobre el sofá y calculamos el peso.

$$p = m \cdot g$$

$$p = 120 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p = 1\,176 \text{ N}$$



El sofá permanece en reposo. Por tanto, según la ley de la inercia, la fuerza resultante es nula.

$$N - p = 0$$

$$N = p = 1\,176 \text{ N}$$

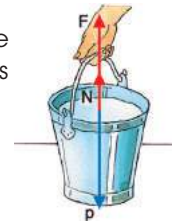
La fuerza normal tiene la misma dirección que el peso del cuerpo y sentido contrario. Su módulo es igual al valor del peso.

b. Representamos las fuerzas que actúan sobre el cubo y calculamos el peso.

$$p = m \cdot g$$

$$p = 3 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p = 29,4 \text{ N}$$



El peso es mayor que la fuerza que se aplica para levantar el cubo. Por tanto, el cubo permanece en reposo y el peso se compensa con la fuerza  $F$  y la normal.

$$N + F - p = 0$$

$$N = p - F = 29,4 \text{ N} - 18 \text{ N} = 11,4 \text{ N}$$

La fuerza normal tiene la misma dirección que el peso del cuerpo y sentido contrario. Sin embargo, ahora su módulo es inferior al valor del peso.



### 3.2. Fuerzas de rozamiento

Sabemos, por experiencia, que para arrastrar un objeto pesado sobre una superficie debemos ejercer una fuerza considerable. Si la fuerza que aplicamos no es suficiente, el objeto no se moverá.

Lo que ocurre es que entre un cuerpo y la superficie sobre la cual se apoya o se desplaza aparece una fuerza que se opone al movimiento y que recibe el nombre de *fuerza de rozamiento*.

Llamamos **fuerza de rozamiento**,  $F_r$ , a la fuerza que aparece en la superficie de contacto de los cuerpos, oponiéndose al movimiento de estos.

#### Características de la fuerza de rozamiento

- Siempre es paralela a la superficie de contacto y tiene sentido contrario al movimiento que efectúa el cuerpo o al que se pretende provocar en él.
- Depende de la naturaleza y del estado de las superficies de los cuerpos, pero no del área de contacto. Cuanto más lisas sean estas superficies, menor será la fuerza de rozamiento.
- La fuerza de rozamiento que se opone al inicio de un movimiento es mayor que la fuerza que existe cuando el cuerpo ya está en movimiento.
- En el caso de un cuerpo en movimiento, es proporcional a la fuerza normal que se ejerce entre las dos superficies en contacto.
- La fuerza de rozamiento no depende del área de contacto de los cuerpos, esto se ha comprobado experimentalmente.

$$F_r = \mu \cdot N$$

La constante de proporcionalidad recibe el nombre de coeficiente de rozamiento,  $\mu$ . En el caso de un cuerpo en reposo, la **fuerza de rozamiento estática**, compensa exactamente la fuerza aplicada en la dirección paralela a la superficie de contacto, hasta llegar a un valor máximo. Cuando se alcanza este valor, el cuerpo comienza a deslizarse, y actúa sobre él una **fuerza de rozamiento cinética**.

#### Ejemplo 7

Sobre un cuerpo de 10 kg, que inicialmente está en reposo sobre un plano horizontal, se aplica una fuerza de 80 N en la dirección paralela al plano. Si el coeficiente de rozamiento para el cuerpo en movimiento vale 0,5, **calcula**: a. La aceleración del cuerpo; b. La velocidad que alcanza en 10 s y la distancia recorrida en este tiempo.

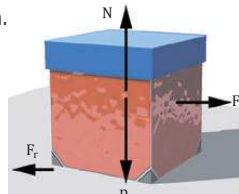
—Representamos las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

La normal  $N$  y el peso  $p$  se compensan.

Por tanto, la resultante es  $F - F_r$ .

a. Calculamos la normal y la fuerza de rozamiento.

$$N = p = m \cdot g =$$



$$= 10 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98 \text{ N}$$

$$F_r = \mu \cdot N = 0,5 \cdot 98 \text{ N} = 49 \text{ N}$$

Aplicamos la ley fundamental de la dinámica.

$$= 10 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{F - F_r}{m} = \frac{(80 - 49) \text{ N}}{10 \text{ kg}} = 3,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

b. Para determinar la velocidad y la distancia recorrida, aplicamos las ecuaciones del MRUA.

$$v = v_0 + a \cdot t = 0 + 3,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ s} = 31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 = 0 + \frac{1}{2} \cdot 3,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10\text{s}^2)$$

$$x = 155 \text{ m}$$

- Dibuja** un esquema de las fuerzas que actúan sobre los siguientes cuerpos:
  - Una estatua fija en un pedestal;
  - Una mesa apoyada en el suelo sobre la cual se ejerce una fuerza vertical hacia abajo.
- Un baúl de 10,5 kg está apoyado en el suelo. Si se tira de él verticalmente hacia arriba con una fuerza de 52,9 N, **determina** el valor de la normal.

- Explica** por qué cuando un automóvil toma una curva sobre un pavimento helado corre el riesgo de deslizarse.
- Un armario de 120 kg es empujado con una fuerza horizontal de 580 N. Si el coeficiente de rozamiento para el cuerpo en movimiento vale 0,4, **calcula**: a. la aceleración que adquiere; b. la velocidad y la distancia recorrida en 5 s.

## Movimiento de cuerpos enlazados

### Tensión

Es una fuerza que aparece asociada a situaciones en las que se tira de un cuerpo con ayuda de un cable o de una cuerda. Estas cuerdas cumplen con dos condiciones esenciales, suponemos que sus masas son despreciables y que son inextensibles.

La fuerza que ejercen las cuerdas sobre los cuerpos suspendidos, que es de origen elástico, se llama **tensión**.

Los dos cuerpos de la figura se mueven conjuntamente al estar unidos por una cuerda. Supondremos que el sistema se moverá hacia la izquierda. Es decir, el cuerpo 1 descenderá por el plano, mientras que el cuerpo 2 ascenderá.

Si el módulo de la aceleración resultara negativo, significaría que el sentido escogido no es el correcto y deberíamos rehacer el problema escogiendo el sentido opuesto. Si en este caso el resultado también fuera negativo, significaría que el cuerpo se mantiene en reposo. Representamos todas las fuerzas que actúan sobre ambos cuerpos y calculamos su aceleración:

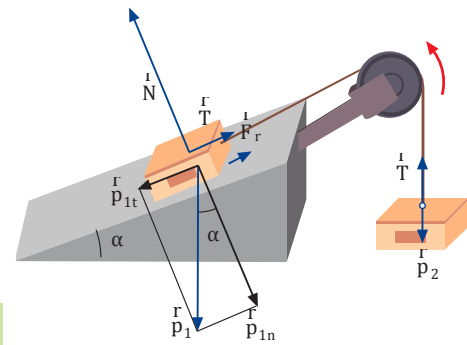
$$\text{Cuerpo 1: } p_{1t} - T - F_r = m_1 a$$

$$\text{Cuerpo 2: } T - p_2 = m_2 a$$

$$\text{Suma } p_{1t} - F_r - p_2 = (m_1 + m_2) a$$

$$a = \frac{p_{1t} - F_r - p_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 g \sin \alpha - \mu_c m_1 g \cos \alpha - m_2 g}{m_1 + m_2}$$

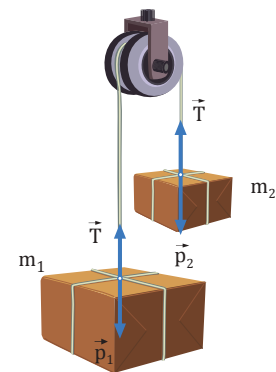
$$T = m_2 a + p_2 = m_2 (g + a)$$



### Y TAMBIÉN: ?

#### Máquina de Atwood

Consta de una polea y un hilo inextensible y de masa despreciable que pasa por su garganta. De cada uno de los extremos del hilo se puede colgar un cuerpo.



Si una de las masas es mayor que la otra, por ejemplo  $m_1 > m_2$ , los dos cuerpos se mueven aceleradamente, el de mayor masa hacia abajo y el otro hacia arriba.

La aceleración del sistema es:

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{m_1 + m_2}$$

### Ejemplo 8

**Calcula** la aceleración del sistema de la figura superior y la tensión de la cuerda si:  $m_1 = 10 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 3 \text{ kg}$ ,  $\alpha = 45^\circ$  y  $\mu_c = 0,2$ .

$$a = \frac{10 \cdot 9,8 \cdot \sin 45^\circ - 0,2 \cdot 10 \cdot 9,8 \cdot \cos 45^\circ - 3 \cdot 9,8}{10 + 3} = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$T = 3(9,8 + 2,0) = 35,4 \text{ N}$$

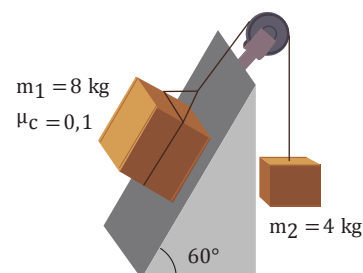
16. Un bloque de 3,5 kg de masa es arrastrado por el suelo a velocidad constante mediante una cuerda horizontal cuya tensión es de 6 N.

- Dibuja** un esquema de las fuerzas que actúan sobre el bloque.
- Calcula** la fuerza de rozamiento y el coeficiente cinético de rozamiento.
- La cuerda se inclina hacia arriba hasta formar un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal. **Explica** cómo se moverá el bloque y **calcula** su aceleración.

17. **Explica** si es cierta la siguiente afirmación: La fuerza de rozamiento estática entre un cuerpo y una superficie es siempre igual a  $\mu$  e N.

18. Una caja baja a velocidad constante por una superficie inclinada  $14^\circ$  respecto a la horizontal. **Calcula** el coeficiente de rozamiento cinético.

19. **Calcula** la aceleración y la tensión de la cuerda para el sistema de la figura.



### Actividades

### 3.3. Dinámica del movimiento circular

La rueda moscovita de la imagen consta de varias cestas, cada una de las cuales describe un movimiento circular. ¿Existe alguna fuerza que haga girar la cesta?

Fíjate en que la dirección del vector velocidad cambia constantemente. La ley de la inercia nos dice que debe existir una fuerza que obligue al cuerpo a cambiar la dirección de su movimiento. Si no fuera así, estaría en reposo o se movería en línea recta con velocidad constante.

Esta fuerza, que lo obliga a girar, recibe el nombre de fuerza *centrípeta*.

La **fuerza centrípeta**,  $F_c$ , es la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y que hacen que este se mueva por una trayectoria circular



https://goo.gl/UnHgwI

#### Y TAMBIÉN:

La fuerza centrípeta es la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en la dirección normal a la trayectoria.

Como todas las fuerzas, la fuerza centrípeta produce una aceleración en el cuerpo sobre el que actúa, que llamamos **aceleración normal** o **centrípeta** ( $a_c$ ). Es la responsable del cambio de dirección de la velocidad. El valor de su magnitud es:

$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad \begin{array}{l} v = \text{módulo de la velocidad} \\ r = \text{radio de la circunferencia} \end{array}$$

El valor de la fuerza centrípeta,  $F_c$ , se deduce aplicando la ley fundamental de la dinámica.

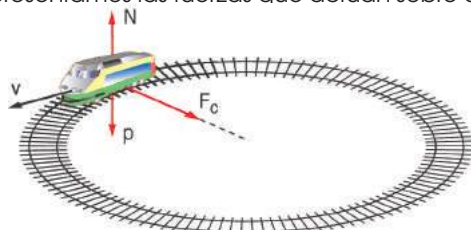
$$F_c = m \cdot a_c; \quad F_c = m \frac{v^2}{r}$$

La fuerza centrípeta tiene la misma dirección y el mismo sentido que la aceleración centrípeta. Ambas se dirigen hacia el centro de giro.

#### Ejemplo 9

Un tren de juguete de 1,5 kg de masa gira en un plano horizontal sobre un circuito circular de radio 2,5 m a una velocidad de 2 m/s. Representa las fuerzas que actúan sobre el tren y calcula la aceleración y la fuerza centrípetas.

- Representamos las fuerzas que actúan sobre el tren.
- Se calculan las fuerzas que actúan sobre el tren.



Observamos que la resultante de las fuerzas aplicadas sobre el tren es la fuerza centrípeta,  $F_c$ , ya que las fuerzas  $p$  y  $N$  se anulan.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(2 \text{ m/s})^2}{2,5 \text{ m}} = 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- La fuerza centrípeta será:

$$F_c = m \cdot a_c$$

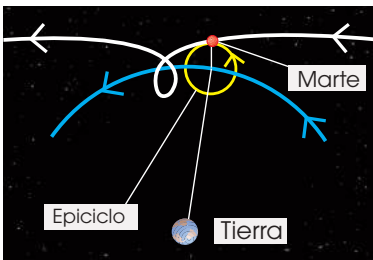
$$F_c = 1,5 \text{ kg} \cdot 1,6 \text{ m/s}^2 = 2,4 \text{ N}$$

- Dibuja** todas las fuerzas que actúan sobre los siguientes cuerpos: a. Un automóvil toma una curva plana en una carretera; b. Una bola ligada al extremo de una cuerda gira en el aire de manera que la cuerda forma un ángulo de  $45^\circ$  con la vertical.
- Un patinador de 68 kg de masa describe círculos de 60 m de radio sobre un plano horizontal con una velocidad constante de 12 m/s. **Calcula** la aceleración y la fuerza centrípetas.

## Y TAMBIÉN:

Las antiguas civilizaciones solo conocían los **planetas** visibles a simple vista: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, aparte de la Tierra. Los identificaron fácilmente porque, a diferencia de las estrellas que siguen un movimiento regular de Este a Oeste noche tras noche, la posición de los planetas varía cada noche.

Normalmente, los planetas se mueven de Oeste a Este con respecto al fondo de estrellas, pero, a veces, su movimiento se hace más lento hasta detenerse. Entonces, durante unas semanas, describen un **movimiento retrógrado**, es decir, de Este a Oeste, para después reanudar su movimiento habitual.



Movimiento retrógrado de Marte según el modelo geocéntrico.

## 4. FUERZAS GRAVITATORIAS

Si Las fuerzas gravitatorias son las responsables del peso de los cuerpos y, también, del movimiento de los cuerpos celestes.

En este apartado estudiaremos cómo ha evolucionado nuestro modelo del universo, qué son las fuerzas gravitatorias y el movimiento de planetas y satélites.

### 4.1. Modelos del universo

En el modelo geocéntrico, la Tierra es el centro del universo y a su alrededor giran el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas.

Este modelo fue propuesto por **Aristóteles** (384-322 a. C.). Según él, en el universo había dos regiones: la región sublunar formada por la Tierra, que era una esfera inmóvil, y la región celeste, formada por esferas concéntricas cristalinas.

En cada esfera se encastraban la Luna, el Sol y cada uno de los planetas. En la esfera externa, que daba una vuelta completa cada día, había las estrellas. La región celeste estaba formada de éter y era inmutable.

En ella, los cuerpos celestes describían un movimiento circular uniforme, el movimiento más perfecto según los griegos. Los cometas se consideraban fenómenos atmosféricos de la región sublunar.

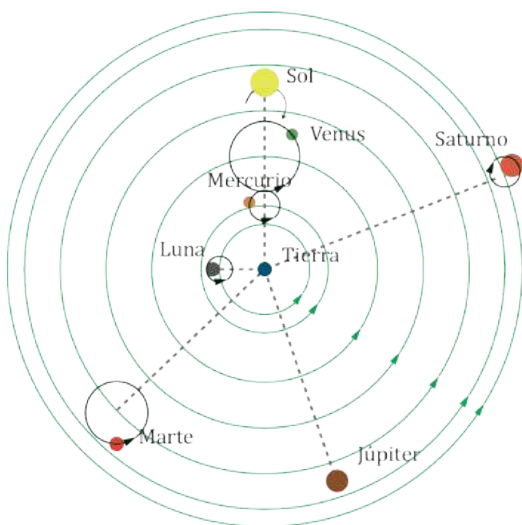
El astrónomo alejandrino Claudio Ptolomeo, en el siglo II d. C., perfeccionó el modelo de Aristóteles para explicar las observaciones astronómicas.

Según Ptolomeo, la Tierra era el centro del universo, y la Luna, el Sol y los planetas giraban en órbitas circulares, que llamó epiciclos.

El centro de cada epiciclo se iba desplazando a lo largo de una circunferencia, denominada deferente, centrada en la Tierra.

El modelo de Ptolomeo explicaba la posición de las estrellas y el movimiento de los planetas.

Con él se elaboraron tablas astronómicas para predecir con bastante exactitud las posiciones de los cuerpos celestes, los eclipses. Este modelo fue aceptado durante catorce siglos.



■ Fig. 8.



## Modelo heliocéntrico

Según este modelo, el Sol está fijo y es el centro del universo, mientras que a su alrededor giran la Tierra, los planetas y las estrellas.

El filósofo griego **Aristarco de Samos**, hacia el año 280 a. C., propuso este modelo que fue olvidado, por ser contrario a nuestra percepción.

Además, si la Tierra se moviera, se tendría que ver, desde dos puntos de la Tierra suficientemente separados, la **paralaje** de las estrellas, hecho que no se observaba.

Siglos después, el astrónomo y clérigo polaco **Nicolás Copérnico** (1473-1543) buscó una alternativa al modelo geocéntrico que simplificara los cálculos al elaborar las tablas astronómicas.

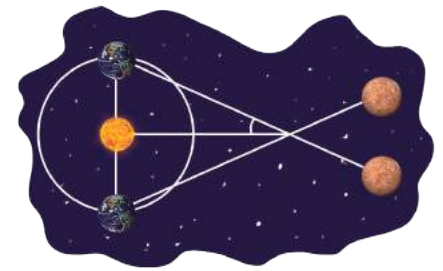
Propuso un modelo en el que la Tierra y los demás planetas giraban alrededor del Sol. En este modelo, además, la Tierra giraba en torno a su eje y la Luna giraba en torno a la Tierra. Y la variación observada en el brillo de Venus y Mercurio se debía a los cambios en su distancia a la Tierra.

Copérnico suponía que los movimientos de estos astros eran circulares y, para explicar los datos astronómicos, tuvo que mantener los epiciclos tolemaicos superpuestos a las órbitas de los planetas alrededor del Sol.

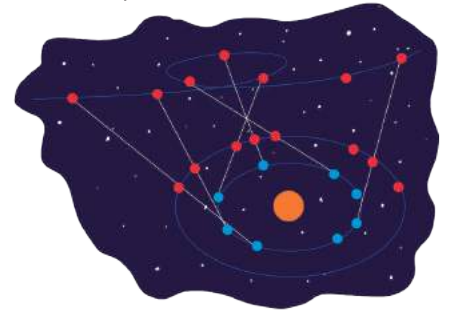
### Galileo y su telescopio

A principios del siglo XVII, el astrónomo y físico italiano Galileo Galilei (1564-1642) perfeccionó un reciente invento holandés, el telescopio. Empleó este instrumento óptico para estudiar el firmamento. Así pudo observar las fases de Venus, los cráteres y montañas de la Luna, las manchas solares, estrellas no visibles a simple vista. Comprobó que la región celeste no era perfecta e inmutable, como creía Aristóteles.

Galileo descubrió satélites que giraban alrededor de Júpiter, es decir, la evidencia de que algunos cuerpos celestes no giraban alrededor de la Tierra. Para explicar sus observaciones Galileo adoptó, enfrentándose a la Iglesia de Roma, el modelo heliocéntrico de Copérnico.



■ Fig. 10.  
■ Paralaje de las estrellas.



■ Fig. 11.  
■ Movimiento retrógrado de Marte según el modelo heliocéntrico.

### Y TAMBIÉN:

La principal objeción que le plantearon a Galileo era que, si la Tierra se movía, entonces un objeto dejado caer de lo alto de una torre debería tocar el suelo en un punto desplazado de la vertical, hecho que no sucede. Galileo argumentó que la Tierra y todo lo que contiene describen un movimiento horizontal a causa de la rotación terrestre. Es decir, el objeto se mueve con la Tierra a medida que va cayendo. Este razonamiento coincide con la **ley de la inercia de Newton**.

22. **Planeta** proviene del griego y significa «errante». — ¿Por qué crees que los griegos escogieron este nombre?
23. **Explica** las diferencias entre el modelo heliocéntrico y el geocéntrico.
24. ¿Qué llevó a Copérnico a cuestionar el modelo geocéntrico? ¿Qué conservó del modelo de Ptolomeo?
25. ¿Cuáles fueron las principales contribuciones de Galileo a la astronomía? ¿Por qué defendió el sistema copernicano?

Actividades

## Modelo actual del universo

Hoy en día sabemos que todos los cuerpos del sistema solar, incluida la Tierra, se mueven alrededor del Sol. Sin embargo, el Sol no es el centro del universo, sino una estrella situada en la periferia de la Vía Láctea. Este conocimiento ha sido fruto de los avances en astronomía desde el siglo XVII hasta nuestros días. Veamos algunos de ellos:

- A partir de las observaciones astronómicas del danés Tycho Brahe (1546-1601), las más precisas hasta esa época, el astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630) dedujo las leyes del movimiento planetario, hoy conocidas como leyes de Kepler:

### Y TAMBIÉN:



El descubrimiento de Hubble puede hacernos creer que ocupamos un lugar central en el universo, pues todas las galaxias se alejan de nosotros. Sin embargo, el efecto es el mismo visto desde cualquier rincón del universo.

Es decir, las galaxias se alejan las unas de las otras.

Imagina un globo en cuya superficie dibujamos algunos puntos uniformemente distribuidos. Al inflar el globo, un observador situado en uno de estos puntos vería cómo todos los demás puntos se alejan de él. Del mismo modo, un observador situado en una galaxia cualquiera del universo vería todas las demás alejarse de él.



■ Fig. 12.

1. Los planetas se mueven alrededor del Sol en órbitas elípticas, con el Sol situado en uno de los focos.
2. El radio vector que une un planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.
3. El cuadrado del período del movimiento de un planeta es directamente proporcional al cubo de su distancia media al Sol.

$$T^2 = k r^3$$

k es una constante igual para todos los planetas

- En la primera mitad del siglo XIX, la precisión en los nuevos instrumentos de medida permitió medir, por fin, la paralaje estelar. Así, la concepción geocéntrica del universo quedó descartada.

En 1929, el astrónomo E. P. Hubble (1889-1953), estudiando la radiación emitida por las estrellas, descubrió que el universo está en expansión. Ello dio pie a la teoría del *big bang*.

Según esta teoría, al principio toda la materia y la energía estaban concentradas en un punto. En un momento dado tuvo lugar una gran explosión, a partir de la cual la materia se dispersó. Posteriormente, las partículas se unieron dando lugar a átomos y estos, a las estrellas.

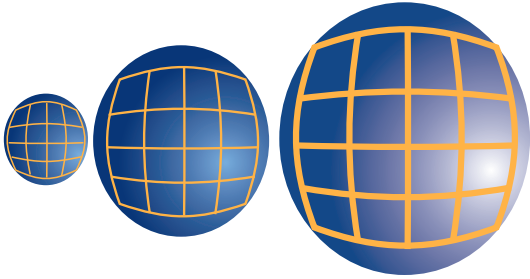
En 1965 los físicos A. Penzias y R. Wilson detectaron la radiación cósmica de fondo. Esta radiación de microondas llega en cualquier dirección en que observemos el universo. Se interpreta como un residuo de la gran explosión y confirma la *teoría del big bang*. Además, las variaciones en la intensidad de la radiación de fondo indican la presencia de galaxias.

El modelo actual del universo es el que más hechos experimentales explica, pero no es definitivo. Por ejemplo, no explica el preciso instante del *big bang*, quedando como una singularidad de la teoría. En el futuro puede haber modificaciones según avance la ciencia.

26. **Elabora** un eje cronológico que muestre la evolución de la concepción del universo a lo largo de la historia.
27. **Cita** ejemplos de cómo los avances científicos y tecnológicos para la exploración del universo han permitido formular el actual modelo del universo.
28. ¿Por qué se dice que el modelo actual del universo es el de un universo en evolución y no un universo inmutable (que no cambia), como sostenía la cosmología clásica?

## El origen del universo: el big bang

La teoría del big bang se inscribe en el marco de la adivinación científica. Al observar mediante los potentes telescopios del siglo XX una buena parte del universo, los astrónomos han podido determinar que el universo está en expansión, es decir, las galaxias se alejan las unas de las otras. El efecto es parecido al de un globo que se está inflando progresivamente.



La observación del movimiento expansivo de las galaxias permite suponer que en el pasado el universo era menor. Siguiendo el razonamiento, de manera sucesiva, llegamos a la conclusión de que en algún momento toda la masa y la energía del universo estaban concentradas en un punto y entonces se produjo una gran explosión (big bang) a partir de la cual la materia se dispersó dando lugar, con el tiempo, al universo que conocemos.

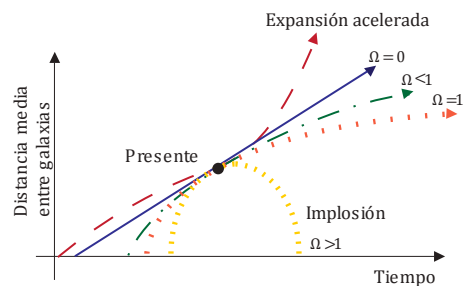
Esta teoría permite fijar mediante cálculos y la aplicación de la ley de Hubble la edad del universo (13 700 millones de años)

El pasado anterior al universo es una incógnita vedada completamente a nuestros conocimientos.

## El futuro del universo

Todavía resulta más inquietante pensar en el futuro del universo. La gran cuestión de la ciencia actual es responder a la cuestión de si este proceso expansivo es indefinido o, si por el contrario, llegará un momento en el que la expansión se detendrá y comenzará la implosión del universo.

Esta cuestión capital no está todavía resuelta. Según los cálculos de los cosmólogos, si la masa total del universo supera un valor crítico ( $\Omega > 1$ ) se producirá la implosión. Si es menor que la masa crítica ( $\Omega < 1$ ) continuará expandiéndose. La dificultad estriba en calcular de una manera fiable la masa real del universo. Algunos cálculos indican que el valor está en torno al 10% de la masa crítica; otros, calculan un valor que la supera. El principal obstáculo es evaluar la masa de los agujeros negros y su comportamiento.



Tanto en el caso de que el universo implodiere una vez alcanzado un máximo crítico, como en el caso de que no implodiere, la teoría del *big bang* pronostica la muerte del universo; o bien por colapso de toda la materia o bien por una muerte térmica.

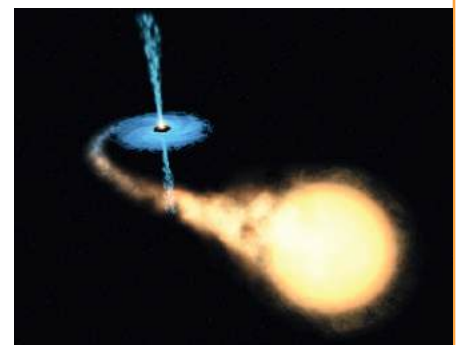
En todo caso, los tiempos en los cuales han de suceder los mencionados cataclismos superan en cantidades impensables la edad de cualquier hombre; incluso la edad previsible de la Tierra.

## Los agujeros negros

Los agujeros negros, o la llamada masa oscura, representa todavía uno de los enigmas pendientes de ser resueltos.

De acuerdo con las observaciones astronómicas existen zonas del universo en las cuales no se detecta ópticamente ningún cuerpo celeste; sin embargo, indirectamente se aprecia un efecto gravitatorio muy absorbente en las estrellas que se aproximan a ellas. Dichas zonas reciben el nombre de agujeros negros.

La teoría de la relatividad predice que la existencia de una masa de gran densidad puede atrapar físicamente la luz sin permitir que salga de ella ningún rayo. La existencia de este fenómeno no extraña, en consecuencia, a las teorías actuales. No obstante seguimos sin conocer con exactitud todos los efectos derivados de la presencia de estos agujeros.



- Nada escapa de un agujero negro, ni siquiera la radiación.

## 4.2. Gravitación universal

El físico inglés Isaac Newton postuló la existencia de una fuerza universal que actúa entre dos masas cualesquiera. Según la leyenda, pensó que había una relación entre la fuerza que hace caer a una manzana del árbol y la que hace orbitar a la Luna en torno a la Tierra.

Newton se sirvió de la segunda y tercera leyes de Kepler para enunciar la **ley de la gravitación universal**.

Dos cuerpos cualesquiera se atraen mutuamente con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

F = fuerza gravitatoria  
 G = constante de gravitación universal  
 $6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$   
 $m_1$  y  $m_2$  = masas de los cuerpos  
 d = distancias entre los cuerpos

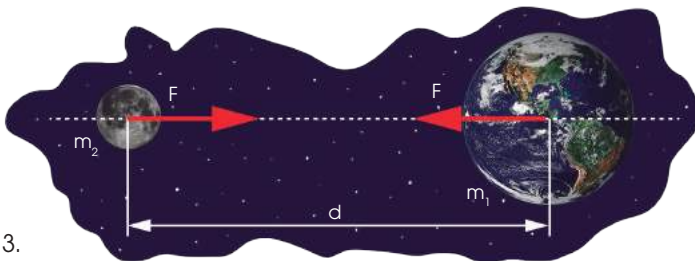


Fig. 13.

Henry Cavendish determinó, en 1798, el valor de G midiendo, con una balanza de torsión, la fuerza de atracción entre dos bolas de plomo.

Fíjate en que las **fuerzas gravitatorias** son siempre **atractivas** y que se presentan a pares, por la ley de acción y reacción. Es decir, entre dos cuerpos actúa una fuerza atractiva sobre cada uno. Ambas fuerzas tienen el mismo módulo y la misma dirección, pero sentidos contrarios.

Excepto en cuerpos de gran masa, las fuerzas gravitatorias son **débiles**.

Otra característica de las fuerzas gravitatorias es que su expresión matemática se aplica a **masas puntuales**, es decir a, cuerpos de dimensiones despreciables comparadas con su distancia de separación.

### Ejemplo 10

**Calcula** la fuerza de atracción gravitatoria entre la Tierra y la Luna si sus centros distan  $3,9 \cdot 10^8$  m. Sabemos que la masa de la Tierra:  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24}$  kg y la masa de la Luna:  $M_L = 7,47 \cdot 10^{22}$  kg.

— Datos:  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24}$  kg;  $M_L = 7,47 \cdot 10^{22}$  kg;  $d = 3,9 \cdot 10^8$  m

Suponemos que la Tierra y la Luna son esferas homogéneas y que sus dimensiones son despreciables comparadas con la distancia entre ellas. La fuerza que se ejercen mutuamente será:

$$F = G \frac{M_T \cdot M_L}{d^2}; \quad F = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 7,47 \cdot 10^{22} \text{ kg}}{(3,9 \cdot 10^8 \text{ m})^2} = 19,59 \cdot 10^{19} \text{ N}$$

Observamos que entre dos cuerpos de gran masa las fuerzas gravitatorias son muy intensas.

### Y TAMBIÉN: ¡?

Sabemos que el peso de un cuerpo es la fuerza con que la Tierra lo atrae. Por tanto, según el enunciado de la ley de la gravitación universal podemos decir que el peso y la atracción gravitatoria son la misma fuerza:

$$p = m \cdot g = G \frac{m \cdot M_T}{R_T^2}$$

$M_T$  es la masa de la Tierra  
 $R_T$  es su radio, es decir, la distancia entre el cuerpo y la Tierra

De esta expresión podemos despejar el valor de g:

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6,378 \cdot 10^6 \text{ m})^2} = 9,81 \text{ N/kg} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Calcula cuánto pesa un astronauta de masa 70 kg en la superficie lunar y compáralo con su peso en la Tierra. Masa de la Luna:  $M_L = 7,47 \cdot 10^{22}$  kg; radio de la Luna:  $R_L = 1\,738$  km.

– Datos:  $m = 70$  kg;  $M_L = 7,47 \cdot 10^{22}$  kg;  $R_L = 1,738 \cdot 10^6$  m

La fuerza gravitatoria de la Luna sobre el astronauta es el peso del astronauta en la Luna:

$$p_L = G \frac{m \cdot M_L}{R_L^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{Kg}^2} \cdot \frac{70 \text{ kg} \cdot 7,47 \cdot 10^{22} \text{ kg}}{(1,738 \cdot 10^6 \text{ m})^2} = 115 \text{ N}$$

El peso del astronauta en la Tierra es:  $p_T = 70 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 686 \text{ N}$

La relación entre ambos es:  $\frac{P_T}{P_L} = \frac{686}{115} \cong 6$

Es decir, en la Luna un cuerpo pesa seis veces menos que en la Tierra.

## Y TAMBIÉN:



### La síntesis de Newton

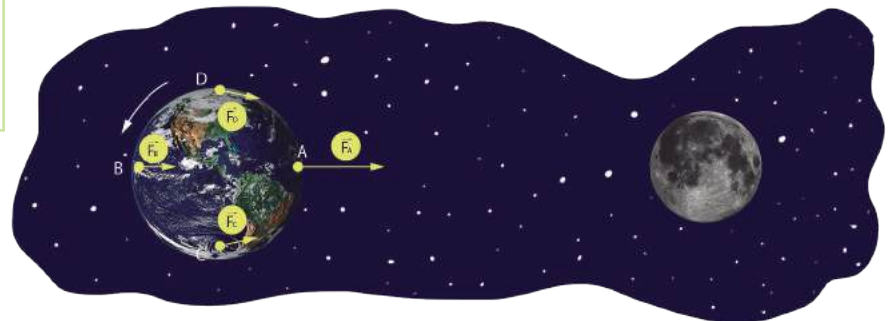
La gran aportación de Newton fue considerar que las mismas leyes que causan el movimiento de los cuerpos celestes son las que rigen la caída de los cuerpos en la Tierra.

Por esta razón, se dice de él que rompió la barrera entre las dos regiones aristotélicas: el cielo y la Tierra.

## Algunas aplicaciones de la ley de gravitación universal

Newton, a partir de las tres leyes de la dinámica y la ley de la gravitación universal, consiguió demostrar el movimiento elíptico de los planetas y explicar el movimiento de los cometas y demás cuerpos celestes.

Además, explicó el fenómeno de las oscilaciones periódicas en el nivel del agua del mar (mareas). Lo atribuyó a las fuerzas gravitatorias que ejercen el Sol y, principalmente, la Luna sobre la Tierra.



■ Fig. 14.

En A, la fuerza gravitatoria de la Luna es mayor que la media y se produce marea alta. En B, la atracción de la Luna es menor que la media, por lo que el agua del mar queda rezagada y se «amontona». También hay marea alta. En C y D, en cambio, hay marea baja.

El Sol influye en la intensidad de las mareas. Cuando está alineado con la Tierra y la Luna, las mareas son más fuertes (mareas vivas). Pero cuando forma un ángulo recto con la Tierra y la Luna, contrarresta parte de la atracción lunar y las mareas son más débiles (mareas muertas).

29. **Explica** por qué el peso de un cuerpo disminuye a medida que dicho cuerpo se va elevando por encima de la superficie de la Tierra.

30. Una mesa y una silla están separadas una distancia de 1 m. ¿Existe alguna fuerza atractiva entre la mesa y la silla?

31. **Calcula** la fuerza de atracción gravitatoria entre dos cuerpos de 12 kg y 20 kg separados 50 cm.

32. **Calcula** la fuerza de atracción gravitatoria que existe entre la Tierra y el Sol. Masa del

Sol:  $M_S = 1,98 \cdot 10^{30}$  kg; masa de la Tierra:  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24}$  kg; distancia media Sol-Tierra:  $d = 1,50 \cdot 10^{11}$  m.

33. Un astronauta de 60 kg de masa es atraído con una fuerza de 270 N cuando se halla a 5000 km del centro de un determinado planeta. **Determina** la masa de este planeta.

34. ¿Por qué en las zonas en que se da el fenómeno de las mareas se suceden dos mareas altas y dos mareas bajas en un intervalo cercano a las 24 horas?

### 4.3. Movimiento de planetas y satélites

La ley de la gravitación universal nos permite conocer el movimiento de planetas y satélites, de los cuales podemos determinar su velocidad, su trayectoria, su periodo etc.

Ejemplo 12

La fuerza centrípeta  $F_c$  que actúa sobre un satélite de masa  $m$  que gira alrededor de un planeta de masa  $M$  en órbita circular de radio  $r$  es igual a la fuerza de atracción gravitatoria.

$$F_c = G \frac{m \cdot M}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

De esta expresión podemos deducir la velocidad orbital,  $v$ , del satélite.

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

Como ves,  $v$  solo depende de la masa  $M$  del planeta que lo atrae y del radio de la órbita.

#### Satélites artificiales

De entre los avances técnicos de la exploración espacial, además de las naves espaciales, destacan los satélites artificiales.

Una vez puestos a la altura deseada con una determinada velocidad, no hay que impulsarlos, ya que la fuerza gravitatoria los mantiene en órbita.

La tabla muestra los principales tipos de satélites artificiales no militares.

Tipos de satélites artificiales			
Meteorológicos	De telecomunicaciones	Científicos	De localización
Se utilizan para observar la atmósfera y predecir el tiempo.	Transmiten señales de radio, televisión y telefonía móvil a cualquier punto de la superficie terrestre.	Se usan para observar el espacio exterior, cartografiar la Tierra y recoger datos físicos de ella.	Determinan las coordenadas geográficas de objetos fijos o móviles en la Tierra para ayudar en la navegación.
			
Meteosat.	Hispasat.	Telescopio Hubble	Satélite del sistema Galileo

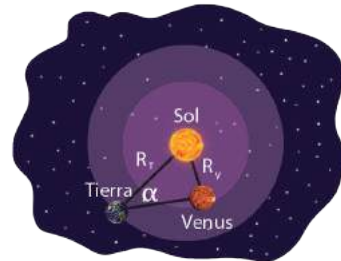
■ Tabla 5.

35. **Explica** cómo los satélites artificiales pueden ser útiles en estas situaciones: a. una embarcación se pierde en alta mar; b. una persona prepara un viaje en auto a una ciudad en la que nunca ha estado; c. en una isla, tiene lugar una erupción volcánica.
36. ¿A cuántas UA equivale un año luz?

Actividades

#### Y TAMBIÉN:

Kepler, tomando como unidad de medida la distancia entre la Tierra y el Sol (llamada unidad astronómica, UA), calculó la distancia de cada planeta al Sol a partir de los ángulos  $\alpha$  medidos.



Hoy día sabemos que:

$$1 \text{ UA} = 1,497 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

Otra unidad muy utilizada en astronomía es el **año luz**:

$$1 \text{ año luz} = 9,4608 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

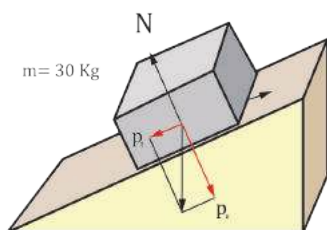


## A

Un objeto de 30 kg se deja caer por un plano inclinado. Si la fuerza normal que actúa sobre él es de 214,9 N, **calcula** la aceleración que adquiere en estos dos supuestos: a. No hay rozamiento; b. El coeficiente de rozamiento para el objeto en movimiento vale 0,45.

Solución

**COMPRESIÓN.** Para hallar la aceleración de un cuerpo, dibujamos un esquema de las fuerzas que actúan sobre él y aplicamos la segunda ley de Newton o ley fundamental de la dinámica. Vamos a hacerlo en el caso de un cuerpo que desciende por un plano inclinado y de un sistema de cuerpos enlazados.



**RESOLUCIÓN.** Representamos las fuerzas.  
 $p^2 = p_t + 1 p_n$   
 $p = m \cdot g$   
 $p = 30 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 294 \text{ N}$   
 $p_n = N = 214,9 \text{ N}$   
 $p_t = \sqrt{p^2 - p_n^2} = \sqrt{(294 \text{ N})^2 - (214,9 \text{ N})^2} = 200,6 \text{ N}$

a. Las fuerzas  $N$  y  $p_n$  se compensan. Por tanto, en ausencia de rozamiento, la fuerza resultante es  $R = p_t$ . Aplicamos la segunda ley de Newton para determinar la aceleración:

$$a = \frac{p_t}{m} = \frac{200,6 \text{ N}}{30 \text{ kg}} = 6,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

b. Cuando hay rozamiento, la resultante es  $R = p_t - F_r$ . Calculamos la fuerza de rozamiento:

$$F_r = m \cdot N = 0,45 \cdot 214,9 \text{ N} = 96,7 \text{ N}$$

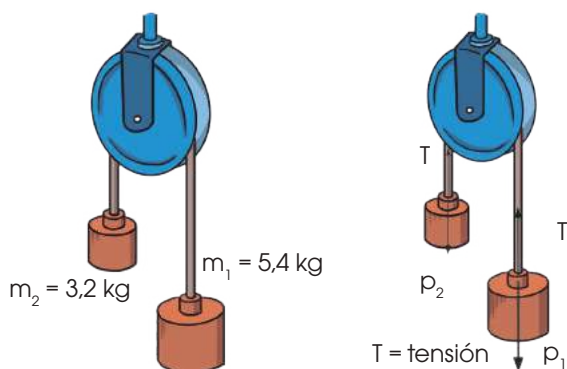
Aplicamos la segunda ley de Newton para determinar la aceleración:  $R = p_t - F_r = m \cdot a$

$$\frac{p_t - F_r}{m} = \frac{200,6 \text{ N} - 96,7 \text{ N}}{30 \text{ kg}} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- Un paquete de 3,2 kg desciende por un plano inclinado. Si la fuerza normal que actúa sobre él es de 28,6 N, **calcula** su aceleración en estos dos casos: a. No hay rozamiento; b. El coeficiente de rozamiento en movimiento vale 0,25.
- Una caja de 4,8 kg asciende por un plano inclinado por acción de una fuerza paralela al plano y dirigida hacia arriba de 120 N. Si la fuerza normal vale 33,3 N y el coeficiente de rozamiento en movimiento vale 0,25, **calcula** su aceleración.

## B

Para el sistema de la imagen:



- Representa** las fuerzas que actúan sobre ambos cuerpos.
- Determina** el sentido del movimiento.
- Calcula** la aceleración.

Solución

**RESOLUCIÓN.**

- Representamos las fuerzas que actúan sobre el sistema.
- La fuerza  $p_1$  tiende a desplazar el sistema hacia la derecha, mientras que la fuerza  $p_2$  tiende a desplazarlo hacia la izquierda. Como  $p_1 > p_2$ , el sistema se desplaza hacia la derecha.
- Aplicamos la ley fundamental de la dinámica a cada uno de los cuerpos.

Cuerpo 1:  $p_1 - T = m_1 \cdot a$

Cuerpo 2:  $T - p_2 = m_2 \cdot a$

Suma:  $p_1 - p_2 = (m_1 + m_2) \cdot a$

$$a = \frac{p_1 - p_2}{m_1 + m_2}$$

$$a = \frac{m_1 \cdot g - m_2 \cdot g}{m_1 + m_2} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot g}{m_1 + m_2}$$

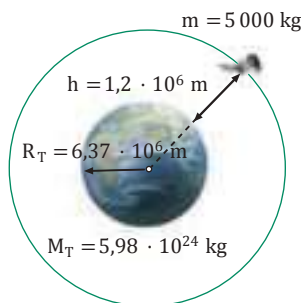
$$a = \frac{(5,4 - 3,2) \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{(5,4 + 3,2) \text{ kg}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

La aceleración del sistema es de 2,5 m/s<sup>2</sup>.

**C**

Un satélite de telecomunicaciones de 5 000 kg de masa describe una órbita circular concéntrica con la Tierra a 1200 km de su superficie. **Calcula:**

- La velocidad orbital del satélite.
- Su período de revolución.

*Solución***COMPRESIÓN.**

(Masa y radio de la Tierra:  $5,98 \cdot 10^{24}$  kg; 6 370 km)

El radio de la órbita es igual al radio de la Tierra más la distancia del satélite a la superficie terrestre:

$$r = R_T + h = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m} + 1,2 \cdot 10^6 \text{ m} = 7,57 \cdot 10^6 \text{ m}$$

a. Calculamos la velocidad orbital del satélite:

$$v = \sqrt{G \frac{M_T}{r}} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{7,57 \cdot 10^6 \text{ m}}}$$

$$v = 7,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

b. Calculamos el período de revolución:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \cdot 7,57 \cdot 10^6 \text{ m}}{7,3 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ s}$$

- ¿Qué cuesta más, situar en órbita un satélite pesado o uno ligero? **Justifica** tu respuesta.
- ¿Podemos situar satélites geoestacionarios a diferentes alturas sobre la superficie terrestre, o por el contrario, esta altura es fija e invariable? **Justifica** tu respuesta.

**D**

**Calcula** la velocidad orbital y la altura sobre el ecuador a la que debe situarse un satélite geoestacionario.

*Solución***RESOLUCIÓN.**

— Datos: Un satélite geoestacionario debe tener un período de revolución igual al de rotación de la Tierra alrededor de su propio eje.  $T = 24 \text{ h} = 86 400 \text{ s}$

Aplicamos las ecuaciones de la velocidad orbital y del período de revolución para obtener un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$\left. \begin{aligned} v &= \sqrt{G \frac{M_T}{r}} \\ T &= \frac{2\pi r}{v} \end{aligned} \right\}$$

Al despejar  $r$  de la segunda ecuación y sustituirla en la primera, obtenemos:

$$r = \frac{Tv}{2\pi} ; v = \left( \frac{2\pi GM_T}{T} \right)^{\frac{1}{3}}$$

— Calculamos la velocidad orbital:

$$v = \left( \frac{2\pi \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{86 400 \text{ s}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$v = 3,1 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

— Primero debemos hallar el radio de la órbita para calcular la altura a la superficie de la Tierra,  $h$ :

$$r = \frac{Tv}{2\pi} = \frac{(86 400 \text{ s}) \cdot (3,1 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{2\pi} = 4,26 \cdot 10^7 \text{ m}$$

— Primero debemos hallar el radio de la órbita para calcular la altura a la superficie de la Tierra,  $h$ :

$$h = r - R_T$$

$$h = 4,26 \cdot 10^7 \text{ m} - 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$h = 3,62 \cdot 10^7 \text{ m}$$

- Calcula** la velocidad orbital y el período de revolución de un satélite que describe órbitas de 8 500 km de radio alrededor de la Tierra.
- Un objeto lanzado desde una nave espacial queda en órbita circular alrededor de la Tierra con una velocidad de  $2,52 \cdot 10^4 \text{ km/h}$ . **Calcula:** a. el radio de la órbita; b. el período de revolución.





## E Fuerzas aplicadas

La siguiente tabla representa los alargamientos que sufre un muelle según diversas fuerzas aplicadas:

F (N)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
x (m)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

- Representa gráficamente la fuerza aplicada en función del alargamiento del muelle.
- Calcula la constante elástica del muelle.
- ¿Cuál es la fuerza aplicada cuando el alargamiento del muelle vale 25 cm?

### Comprensión del enunciado

— Disponemos de una tabla que representa el alargamiento de un muelle según diversas fuerzas aplicadas.

- Representemos gráficamente la fuerza aplicada en función del alargamiento del muelle.
- Calculemos la constante elástica del muelle y la fuerza aplicada cuando el alargamiento de éste es de 25 cm.

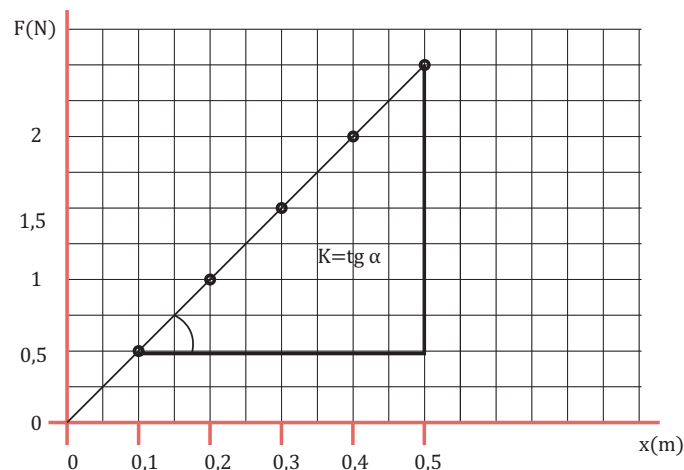
### Planificación

- Representaremos sobre un sistema de coordenadas las fuerzas aplicadas (en el eje Y) frente a los alargamientos producidos en el muelle (en el eje X).
- Comprobaremos que se obtiene una recta y calcularemos la pendiente de ésta, que es igual a la constante elástica del muelle.
- Aplicaremos la ley de Hooke para determinar la fuerza ejercida cuando el alargamiento vale 25 cm.

Solución

### Ejecución

- Representamos gráficamente los datos de la tabla:



Existe una proporcionalidad directa entre F y x, puesto que hemos obtenido una recta.

- Tomamos el primero y el último punto representados en la gráfica para calcular la pendiente de la recta:

$$K = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{2,5 \text{ N} - 0,5 \text{ N}}{0,5 \text{ m} - 0,1 \text{ m}} = 5 \text{ N/m}$$

- Aplicamos la ley de Hooke para  $x = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ :

$$F = K x = 5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,25 \text{ m} = 1,25 \text{ N}$$

### Respuesta

- La gráfica F-x se muestra en la figura superior.
- El valor de la constante elástica del muelle es de 5 N/m.
- La fuerza aplicada cuando la deformación es de 25 cm vale 1,25 N.

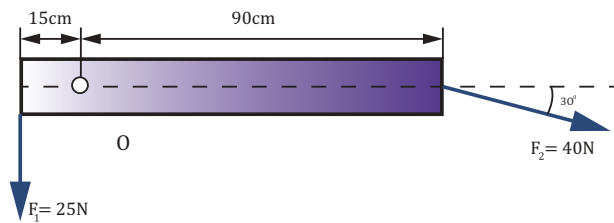


## G

### Fuerzas aplicadas

En la figura aparece una barra sometida a dos fuerzas,  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$ , de módulos 25 N y 40 N, respectivamente.

**Calcula** el momento resultante del sistema respecto al punto O.



### Comprensión del enunciado

— Datos:

$$F_1 = 25 \text{ N}; F_2 = 40 \text{ N}; \alpha = 30^\circ$$

$$d_1 = 15 \text{ cm}; r_2 = 90 \text{ cm}$$

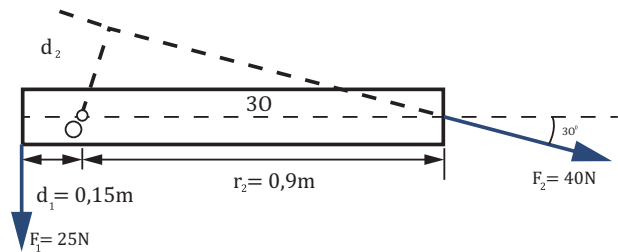
- Debemos calcular el momento resultante del sistema de fuerzas formado por  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$  respecto al punto O.

### Planificación

- Dibujaremos un esquema de las fuerzas que actúan sobre la barra y situaremos en él las distancias del punto O a las rectas de aplicación de estas fuerzas.
- Calcularemos los momentos de cada una de las fuerzas,  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$ , respecto al punto O, teniendo en cuenta el criterio de signos.
- Efectuaremos la suma de los momentos de  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$ , con sus signos correspondientes, para hallar el módulo del momento resultante.

Solución

### Ejecución



— Calculamos el momento de  $\vec{F}_1$  respecto a O:

$$M_1 = F_1 d_1 = 25 \text{ N} \cdot 0,15 \text{ m} = 3,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$M_1$  es positivo, porque produce un giro en sentido contrario al de las agujas del reloj.

— Calculamos el momento de  $\vec{F}_2$  respecto a O:

$$M_2 = -F_2 d_2 = -F_2 r_2 \sin \alpha$$

$$M_2 = -40 \cdot 0,9 \cdot \sin 30^\circ = -18 \text{ N} \cdot \text{m}$$

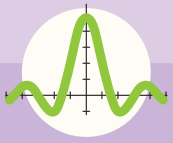
$M_2$  es negativo porque produce un giro en el mismo sentido al de las agujas del reloj.

— Sumamos  $M_1$  y  $M_2$  para obtener el momento resultante:

$$M = M_1 + M_2 = 3,7 \text{ N} \cdot \text{m} - 18 \text{ N} \cdot \text{m} = -14,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### Respuesta

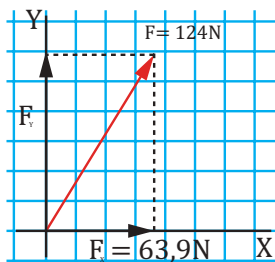
El momento resultante del sistema es  $-14,3 \text{ N} \cdot \text{m}$ . El signo negativo indica que producirá un giro en el mismo sentido que el de las agujas del reloj.



# Ejercicios y problemas

## 1 Las fuerzas y su equilibrio

1. ¿Cómo se define una fuerza?  
**Pon** ejemplos de fuerzas observables en la naturaleza y di qué efecto produce cada una.
2. Una persona levanta un bolso con la mano. **Dibuja** las fuerzas que actúan sobre el bolso mientras este sube.
3. Dos chicas empujan un carrito con fuerzas de 45 N y 37 N que tienen la misma dirección y sentido contrario. **Dibuja** un esquema de las fuerzas y **determina** la fuerza resultante.
4. Dos chicos tiran de los extremos de una cuerda atada alrededor de una caja con fuerzas perpendiculares de 32 N y 28 N. **Dibuja** un esquema de las fuerzas y determina la fuerza resultante.
5. **Transforma** las siguientes fuerzas de kilopondios a newtons, y viceversa: 0,12 kp; 121,4 kp; 13,72 N; 4165 N.
6. Un camión de 4 800 kg de masa sube por una cuesta.
  - a. **Representa** el peso del camión mediante un vector.
  - b. **Calcula** el módulo del peso.
7. La fuerza  $F$  de la imagen se ha descompuesto en dos componentes con la dirección de los ejes de coordenadas. **Calcula** el valor de  $F_y$ .



8. **Explica** qué queremos decir al afirmar que las fuerzas de un sistema están en equilibrio.

## 2 Las leyes de Newton

9. ¿Qué es la inercia? **Describe** dos ejemplos en los que se haga patente la existencia de la inercia.
10. **Enuncia** la segunda ley de Newton.
11. **Calcula** la fuerza que es preciso aplicar a un trineo de 4,5 kg de masa para que adquiera una aceleración de  $8 \text{ m/s}^2$ .
12. La tabla recoge las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo y las aceleraciones que este adquiere en cada caso.
  - a. **Representa** gráficamente los valores de la tabla. ¿Qué forma tiene la gráfica?
  - b. **Determina** el valor de la masa de este cuerpo.
13. Un cuerpo de 15 kg de masa se mueve a una velocidad de 36 km/h. Calcula la fuerza que se le debe aplicar durante 5 s para que se detenga.  
Ayuda: La fuerza le proporciona una aceleración constante.
14. Una fuerza actúa sobre un cuerpo de 3 kg y le hace aumentar la velocidad desde 1 m/s hasta 5 m/s en 3 s. **Calcula** el valor de la fuerza. Exprésala en newtons y en kilopondios.
15. Cuando golpeas una mesa con la mano, ¿se produce alguna fuerza de reacción? ¿Cuál?

16. **Explica** qué sucede cuando una turista salta de la barca de remos de un estanque al embarcadero. ¿Existe alguna relación entre las fuerzas que actúan sobre la barca y sobre la turista?

### 3 Aplicaciones de las leyes de Newton

17. **Explica** mediante un ejemplo qué entendemos por fuerza normal en el caso de un cuerpo apoyado sobre una superficie.
18. Para empujar un carrito de la compra vacío con un movimiento rectilíneo y uniforme de  $0,5 \text{ m/s}$  de velocidad, es necesario realizar una fuerza de  $10 \text{ N}$ . Si se lleva a una velocidad de  $1 \text{ m/s}$  con el mismo tipo de movimiento, ¿qué fuerza realizamos?
19. Un velero de  $200 \text{ kg}$  es empujado por el aire con una fuerza de  $300 \text{ N}$ , al mismo tiempo que sobre él actúa una fuerza de fricción con el agua de  $100 \text{ N}$ .
20. Un cuerpo de  $4 \text{ kg}$  de masa está en reposo sobre una superficie horizontal. Al aplicarle una fuerza horizontal de  $20 \text{ N}$ , adquiere una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$ .  
**Calcula:** a. El valor de la fuerza de rozamiento; b. La aceleración que adquiriría si no hubiese rozamiento.
- a. ¿Con qué aceleración se moverá el velero?
- b. ¿Qué velocidad tendrá al cabo de  $20 \text{ s}$  si ha salido del reposo?
21. **Calcula** la aceleración y la fuerza centrípeta que actúan sobre un auto de  $1500 \text{ kg}$  de masa cuando toma una curva de  $20 \text{ m}$  de radio a  $80 \text{ km/h}$ .

22. **Formen** parejas y **realicen** esta sencilla experiencia para medir la fuerza centrípeta:

- **Aten** un pequeño objeto de masa conocida  $m$  al extremo de un fino cordel. Puede ser una bola de plástico agujereada, un tapón de botella. Hagan una marca en el cordel a una distancia de  $1 \text{ m}$  del objeto.
- Uno sujetará el cordel con su mano por el lugar marcado y hará girar el objeto de manera que este siga un movimiento circular uniforme en un plano horizontal. Su mano estará situada en el centro de la circunferencia descrita por el objeto. El otro cronometrará el tiempo que tarda el objeto en dar diez vueltas.



- A continuación, **calcula** la fuerza centrípeta.  
Para ello debes calcular en primer lugar la velocidad, teniendo en cuenta que el objeto recorre una distancia  $2\pi r$  en cada vuelta y efectúa  $10$  vueltas en un tiempo  $t$ .  
La fuerza centrípeta se relaciona con la velocidad y el radio de la circunferencia mediante la ecuación:

$$F_c = m \frac{v^2}{r}$$

## 4 Las leyes de Newton

23. De los modelos del universo de Ptolomeo y de Copérnico, ¿cuál puede explicar el movimiento retrógrado de los planetas?
24. Teniendo en cuenta la ley de gravitación universal, **explica** por qué la velocidad lineal de un planeta es menor en el punto de su órbita más alejado del Sol, y mayor en su punto más próximo. ¿Con qué ley de Kepler se relaciona este hecho?
25. **Calcula** la velocidad orbital de un satélite que orbita alrededor de la Tierra a una altura de 650 km de la superficie. (Masa de la Tierra =  $5,98 \cdot 10^{24}$  kg)
26. Dos cuerpos de 200 kg están separados por una distancia de 0,50 m. ¿Cuánto vale la fuerza gravitatoria entre ellos? **Representa** las fuerzas.
27. **Infórmate** de las reacciones de las Iglesias luterana y católica ante la revolución copernicana y la postura de Galileo. ¿Qué opinas sobre el enfrentamiento entre dogmatismo y libertad de investigación?

## 5 Algo más

28. **Busca** información sobre los planetas del sistema solar. (Para ello puedes conectarte a la página: <http://goo.gl/p9gKjX>)
- **Utiliza** la hoja de cálculo para calcular el valor del campo gravitatorio de la Tierra (g) desde una altura cero hasta una altura de 500 km sobre la superficie terrestre a intervalos de 10 km.

29. **Visita** la página <http://goo.gl/oJel2m>. Selecciona el idioma español y **busca** información sobre las misiones de la Agencia Espacial Europea (ESA). Organicen un coloquio en torno al tema Participación española en la ESA, ¿qué misiones te parecen más interesantes?

- **Averigua** qué es el Aeolus en la página <http://goo.gl/a0JpD4>. También te ofrece instrucciones para montar un modelo suyo a escala. ¿Cómo valoras su utilidad?

30. **Conéctate** a estas dos páginas web e **identifica** a la Tierra, el Sol y Marte: <http://goo.gl/UD16mU>; <http://goo.gl/qrr001>

- ¿Cómo se explica el movimiento retrógrado de Marte en los dos modelos?

31. **Descárgate** en la red alguna aplicación gratuita de un planetario virtual, o bien conéctate a <http://goo.gl/ssyl8z>. Introduce tu posición en la Tierra y comienza a observar los astros del firmamento en diferentes fechas y tiempos.

Cuando localices un planeta, **observa** cómo su posición varía a lo largo de los meses.

**Localiza** tres estrellas brillantes y mira cómo varía su posición a la misma hora y día, a lo largo de los años. ¿Qué diferencias observas con respecto a los planetas?

32. **Compara** los resultados, para las constantes elásticas, obtenidos en tu grupo (ver la experiencia de la página 81) con los de los otros, y **discute**, en tu propio grupo o con los demás, si tiene importancia el valor de la masa que se cuelga del muelle en el resultado del experimento.

— ¿Por qué has debido calcular el valor medio para determinar la constante elástica?

33. **Busca** información en Internet y **redacta** un texto en el que expliques uno de estos dos temas:

— Cómo tienen en cuenta la dinámica del movimiento circular uniforme los ingenieros de Fórmula 1 (masa y altura del vehículo, características de los neumáticos en función de las condiciones climatológicas, radio de las curvas...).

— La física de una montaña rusa (fuerzas que intervienen en los distintos tramos, pérdidas en forma de calor por el rozamiento...).

34. **Enumera** distintos sistemas físicos o cuerpos a los que pueden aplicarse las leyes de Kepler.

**Di** si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones acerca de la fuerza gravitatoria. **Argumenta** tu respuesta.

- a. Su alcance es infinito.
- b. Existe entre cualquier pareja de objetos del universo.

c. Es inversamente proporcional a la distancia que separa los objetos.

d. Tiene carácter atractivo o repulsivo.

35. **Indica** cuál de las siguientes afirmaciones acerca del campo gravitatorio terrestre es verdadera:

a. El peso de un objeto depende de su cantidad de materia, por lo que su valor es constante.

b. La masa de Marte es menor que la de la Tierra, por lo que el campo gravitatorio en su superficie será mayor que el campo gravitatorio en la superficie de la Tierra.

c. El campo gravitatorio tiene unidades de aceleración, por lo que una masa que esté dentro del campo gravitatorio creado por otra se moverá siempre hacia ella con movimiento acelerado.

d. Los astronautas «flotan» en las naves espaciales porque su peso es mucho menor que el que tienen en la superficie de la Tierra.

36. **Responde:**

a. **Determina** la densidad media de la Tierra.

b. ¿A qué altura sobre la superficie de la Tierra el campo gravitatorio terrestre se reduce a la tercera parte?

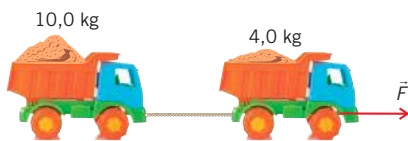
**Datos:**  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ ;  
 $R_T = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$ ;  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

37. Una gota de aceite tiene una masa de  $4 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$  y una carga neta de  $4,8 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Si se encuentra en reposo cerca de una superficie horizontal plana, **determina** cuál es la dirección y la magnitud del campo eléctrico al que está sometida.

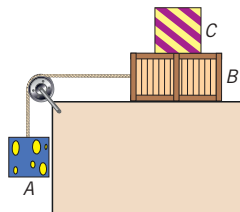
38. Un cuerpo de 2 kg descansa sobre una superficie sin rozamiento que tiene una inclinación de  $60^\circ$  y una aceleración  $a$  hacia la derecha, de tal modo que la masa permanece estacionaria con relación al plano.

- Determina  $\vec{a}$ .
- ¿Qué ocurriría si el plano adquiriese una aceleración superior?

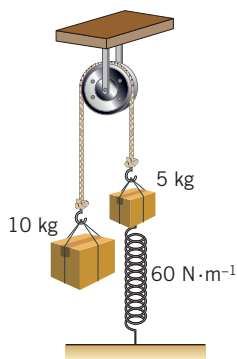
39. En el sistema de la imagen, **calcula** la fuerza necesaria y la tensión de la cuerda si la aceleración es de  $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  y  $m = 0,10$ .



40. Las masas A (30 kg) y B (12 kg) están unidas entre sí con una cuerda inextensible y de masa despreciable. No existe rozamiento mínimo apreciable entre B y el suelo, pero sí entre B y C (8 kg). Si dejamos el sistema en libertad, ¿qué coeficiente de rozamiento mínimo ha de haber entre B y C para que todo el conjunto se mueva con la misma aceleración?



41. **Calcula** cuánto se estirará el muelle del dibujo.

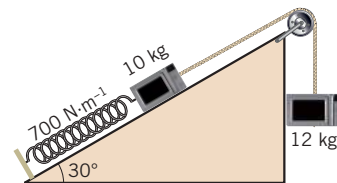


42. Colgamos de un muelle una masa de 2 kg y observamos que su longitud incrementa en 5 cm. Después, usamos ese mismo muelle para engancharlo a un objeto de 4 kg y arrastrarlo por una superficie horizontal con una aceleración de  $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , siendo  $m = 0,2$ . **Determina** el alargamiento que experimenta el muelle durante el arrastre.

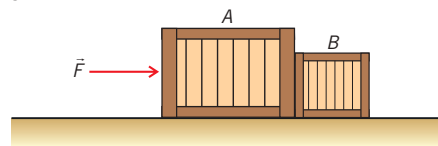
43. Un muelle de constante elástica  $50 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$  y longitud natural 20 cm está ligado al techo de un ascensor. Si colgamos de su extremo un cuerpo de 300 g de masa, **calcula** la longitud del muelle cuando el ascensor: a. Suba con una aceleración de  $2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  en el sentido del movimiento; b. Suba con velocidad constante.

44. Deseas hacer un experimento para averiguar la constante elástica de un dinamómetro. Dispones de tres dinamómetros (que pueden medir, como máximo, fuerzas de 1 N, 2 N y 3 N) y de una libreta de 300 g. ¿Cuál de ellos usarías? **Describe** el procedimiento que vas a seguir.

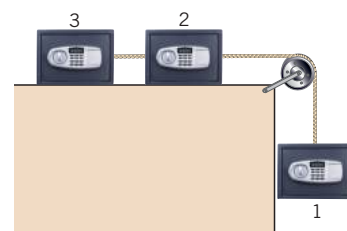
45. **Determina** la distancia que se estira el muelle de la imagen, sabiendo que las masas se encuentran en reposo y considerando despreciable el rozamiento.



46. Se ejerce una fuerza de 12 N en dirección horizontal contra un bloque A, de 4 kg de masa, el cual empuja, a su vez, a un bloque B de 2 kg, según se muestra en la imagen de abajo. Si los coeficientes de rozamiento dinámico entre los bloques A y B con el suelo son, respectivamente, de 0,1 y 0,2, **determina** la aceleración del sistema y la fuerza que ejerce cada bloque sobre el otro.



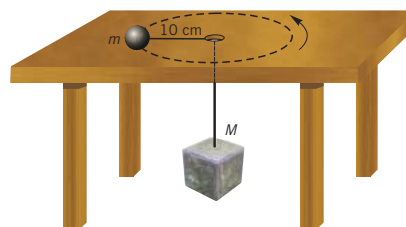
47. **Calcula** la aceleración de bajada del cuerpo 1 y la tensión de la cuerda que une los cuerpos 2 y 3 si el coeficiente de rozamiento dinámico entre estos y la mesa es  $m$ . La masa de todos los objetos es  $m$ .



## 6 Dinámica del movimiento circular uniforme

48. **Responde** a las siguientes preguntas:
- ¿Puede un cuerpo moverse en una dirección o sentido distintos a los de la fuerza que actúa sobre él?
  - ¿Por qué frenan los pilotos de Fórmula 1 antes de comenzar a describir una curva, tanto más cuanto más cerrada sea?
49. Colgamos del techo de un auto una masa, con ayuda de una cuerda, de tal modo que, cuando el auto toma una curva de 250 m de radio a  $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , la cuerda se separa de la vertical. ¿Cuál es el ángulo de separación?
50. Un auto de Fórmula 1 describe una curva cerrada de 50 m de radio con una velocidad de  $108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . ¿A qué aceleración centrípeta estará sometido? ¿Por qué son tan importantes las características de los neumáticos de dichos automóviles?
51. **Dibuja** todas las fuerzas que actúan sobre un niño que gira montado en el columpio de un carrusel. ¿Cómo influye la masa del niño en el movimiento? ¿Y la velocidad de giro? Compruébalo después en la siguiente dirección: <http://goo.gl/GYSUxc>
52. Un péndulo cónico es un objeto que cuelga del extremo de una cuerda y se mueve describiendo vueltas en una circunferencia horizontal. **Calcula** el ángulo que formará la cuerda con la vertical si la masa gira a 50 r.p.m. y la cuerda mide 1 m.
53. Una piedra atada a una cuerda de 50 cm de longitud gira uniformemente en un plano vertical.
- **Calcula** a qué velocidad angular se romperá la cuerda si la tensión máxima que soporta es igual a diez veces el peso de la piedra.
54. Un cuerpo de 3,0 kg está suspendido de un hilo inextensible y sin masa de 100 cm de longitud, cuyo extremo opuesto se halla unido a un punto fijo del techo. El cuerpo describe una circunferencia de 50 cm de radio en un plano horizontal.
- **Calcula** la tensión del hilo y el módulo de su velocidad.

55. ¿A qué velocidad debe girar la masa  $m$  (500 g) de la figura sobre la mesa horizontal para que la masa  $M$  (3,5 kg) que cuelga permanezca en equilibrio? **Considera** despreciable el rozamiento.



56. Un niño se entretiene haciendo girar un yoyo de masa  $m$  con velocidad constante en un plano vertical. La longitud de la cuerda es de 1,0 m y la velocidad de giro es la justa para que la cuerda se mantenga tensa en el punto más alto de la circunferencia.
- ¿Cuál será la velocidad en el punto más bajo?
57. Al subir a un carrusel, Ramón ha dejado en el suelo de este el paquete que cargaba.
- ¿Cuál debe ser el coeficiente de rozamiento mínimo entre el paquete y el suelo para que el paquete no resbale?
- Expresa** el resultado en función de la gravedad,  $g$ , del radio,  $R$ , y del período de giro,  $T$ , del carrusel.
58. Con una honda de 1,2 m de radio se hace girar una piedra de 200 g, describiendo una circunferencia vertical cuyo centro está situado a 6,0 m sobre el suelo. Se supone que la masa de la cuerda es despreciable y que soporta una tensión máxima de 50 N. **Calcula:**
- La velocidad de la piedra en el momento de romperse la cuerda.
  - La distancia desde el punto en que sale la piedra hasta el punto en que llega al suelo.

## 7 Interacciones de contacto

59. Una rueda de bicicleta de 559 mm de diámetro y 3,2 kg de masa gira a  $12 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . Debido al rozamiento, se detiene cuando transcurren 320 s. **Calcula** el módulo del momento de fuerza producido por el rozamiento.
60. Un ciclista toma la curva de un velódromo de 20 m de radio a  $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Si el coeficiente de rozamiento entre las ruedas y la pista es de 0,10, **determina** el ángulo de peralte de la curva necesario para que no se salga de ella.



## COMPROBACIÓN DE LA LEY DE HOOKE



### OBJETIVO:

En esta experiencia, vamos a comprobar la relación matemática que existe entre la fuerza aplicada a un muelle elástico de acero y el alargamiento que experimenta. Esta relación matemática constituye la ley de Hooke:

$$F = K \cdot \Delta l = K (l - l_0)$$

F = Fuerza aplicada

K = Constante elástica del muelle

$l_0$  = Longitud inicial

L = Longitud final

### MATERIALES:

- Un muelle de acero provisto de un índice.
- Regla graduada.
- Portapesas o platillo para aplicar la carga.
- Pesas o discos ranurados de masa conocida.
- Soporte metálico y pinzas.



**PROCESOS:**

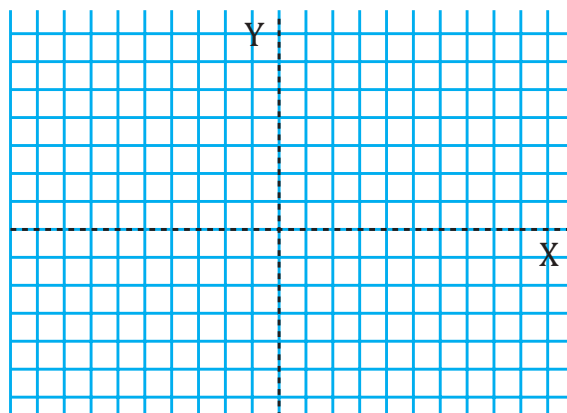
1. **Prepara** el montaje indicado en la imagen.
2. **Pesa** el portapesas o el platillo que vas a utilizar. **Anota** el valor de su masa.
3. Antes de colgar el portapesas o el platillo, **ajusta** el índice del muelle al cero de la regla.
4. **Cuelga** del muelle el portapesas o el platillo y **coloca** los discos o pesas necesarios para que comience a alargarse apreciablemente el muelle.
5. **Añade** regularmente pesas y **anota** en cada caso el valor de las pesas más el del portapesas y el alargamiento producido.
6. **Repite** cada medida tres veces. De este modo, obtendrás tres valores del alargamiento ( $\Delta l$ ) para cada carga.
7. **Calcula** la media aritmética de los tres valores del alargamiento.
8. **Realiza** unas seis medidas sucesivas con diferentes pesas.

Medida	Masa de las pesas más el portapesas (kg)	Fuerza aplicada (N) $p = m \cdot g$	Alargamiento (cm)			$\Delta l$ medio (cm)	$\frac{F}{\Delta l} \left( \frac{N}{cm} \right)$
			$\Delta l_1$	$\Delta l_2$	$\Delta l_3$		

■ Tabla 6.

**CUESTIONES:**

- **Representa** en una gráfica como la de la figura los valores obtenidos. En el eje de ordenadas **coloca** las fuerzas aplicadas, en newtons; en el eje de abscisas, los alargamientos, en centímetros. **Une** los puntos obtenidos y **describe** la forma de la gráfica.
- La ley de Hooke dice que las fuerzas aplicadas y los alargamientos producidos son directamente proporcionales. ¿Has comprobado si se cumple esta ley en el muelle utilizado? ¿Cómo?
- La constante elástica  $K$  es característica de cada muelle. **Calcula** la constante elástica del muelle que has utilizado como la media aritmética de los cocientes  $F/\Delta l$ .





SOCIEDAD

## PREVENCIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Para prevenir los accidentes de tránsito y minimizar las lesiones derivadas de ellos, hay que cumplir las normas de circulación.

Cuando un auto impacta por accidente con algún obstáculo, su velocidad  $v_0$  se reduce bruscamente a cero. Es decir, actúa una fuerte fuerza de desaceleración que no se transmite instantáneamente a los ocupantes del vehículo. Por tanto, si los pasajeros no llevan puesto el cinturón de seguridad, estos mantienen, por inercia, su velocidad  $v_0$  hasta impactar con otro pasajero o alguna parte del auto, o bien salir despedidos de él. El cinturón de seguridad mantiene sujeto al pasajero.



La distancia de seguridad varía según el estado de la vía y las condiciones atmosféricas. En circunstancias normales, se recomienda mantener con el vehículo que nos precede la distancia que recorreremos en tres segundos. Es decir, si circulamos a 120 km/h, debemos mantener aproximadamente 100 m de distancia.

Al aumentar la distancia de seguridad, disponemos de más espacio para frenar, con lo que la fuerza de desaceleración a que estaremos sometidos será menor. También, al circular con menor velocidad, la desaceleración será menor.

Prohibida su reproducción

SENTIDO CRÍTICO

## LA BASURA ESPACIAL

Hasta una distancia de 2 000 km sobre la superficie terrestre se halla orbitando la llamada basura espacial. Se trata de satélites fuera de servicio, depósitos de combustible y partes desechadas de lanzamientos o misiones espaciales, así como fragmentos resultantes de colisiones o explosiones, y restos de pintura arrancada de vehículos espaciales.



<http://goo.gl/ahXkSc>

La basura espacial está formada por más de 22 000 objetos de tamaño superior a 10 cm, así como medio millón de partículas de entre 1 y 10 cm y decenas de millones de partículas de tamaño inferior a 1 cm. La mayor parte de la basura espacial orbita la Tierra entre los 800 y los 850 km, por lo que resulta esencial su eliminación, puesto que supone un riesgo para las naves espaciales que orbitan en dichas altitudes.

Cuanto más lejos está orbitando un objeto de la basura espacial, más tarda en abandonar su órbita y caer a la Tierra. Si se da este caso, puede suceder que el objeto no se desintegre completamente en su reentrada en la atmósfera, tal como sucedió con el satélite estadounidense UARS en septiembre de 2011.

Últimamente, se está probando un nuevo método para destruir la basura espacial (IBS) que consiste en lanzar chorros de iones sobre el objeto, con el fin de ejercer una fuerza que le permita volver a entrar en la atmósfera o bien situarlo en una órbita cementerio donde no moleste.

Los propulsores iónicos han sido probados con éxito en diferentes misiones espaciales y son una posible solución a este problema.



- Una fuerza es cualquier acción capaz de alterar el estado de reposo o de movimiento de los cuerpos, o de producir en ellos alguna deformación.
- Llamamos peso de un cuerpo a la fuerza de atracción gravitatoria que la Tierra ejerce sobre él.
- La fuerza resultante es la fuerza que produce sobre un cuerpo el mismo efecto que el sistema de todas las fuerzas que actúan sobre él, es decir, la suma vectorial de las fuerzas del sistema.
- Decimos que dos o más fuerzas aplicadas a un mismo cuerpo están en equilibrio cuando neutralizan mutuamente sus efectos, es decir, cuando su resultante es nula.
- Leyes de Newton  
Primera ley de Newton: ley de la inercia. Un cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme si no actúa ninguna fuerza sobre él, o bien si la resultante de las fuerzas que actúan es nula.  
Segunda ley de Newton: ley fundamental de la dinámica. Si sobre un cuerpo actúa una fuerza resultante, este adquiere una aceleración directamente proporcional a la fuerza aplicada, siendo la masa del cuerpo la constante de proporcionalidad.

$$F = m \cdot a$$

Tercera ley de Newton: ley de acción y reacción. Si un cuerpo ejerce una fuerza, que llamamos acción, sobre otro cuerpo, este, a su vez, ejerce sobre el primero otra fuerza, que denominamos reacción, con el mismo módulo y la misma dirección, pero de sentido contrario.

- Llamamos **fuerza normal** (N) a la fuerza que ejerce la superficie de apoyo de un cuerpo sobre este.
- Llamamos **fuerza de rozamiento** ( $F_r$ ) a la fuerza que aparece en la superficie de contacto de los cuerpos, oponiéndose al movimiento de estos.

$$F_r = \mu \cdot N$$

- La **fuerza centrípeta** ( $F_c$ ) es la fuerza que es preciso aplicar a un cuerpo para que siga una trayectoria circular.

$$F_c = m \frac{v^2}{r}$$

- En el **modelo geocéntrico** de Ptolomeo, todos los cuerpos celestes giran alrededor de la Tierra.
- En el **modelo heliocéntrico** de Copérnico, la Tierra y los planetas giran alrededor del Sol. En ambos modelos, se utilizan epiciclos para dar cuenta de los datos observacionales.
- En el **modelo actual** el universo está en expansión, originado por el *big bang*. En nuestro sistema solar, los planetas giran en órbitas elípticas alrededor del Sol y se cumplen las leyes de Kepler.
- La **ley de la gravitación universal** explica la caída de los cuerpos en la Tierra, así como las mareas y el movimiento de los cuerpos celestes. La fuerza de atracción gravitatoria entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

- ¿Qué significa que la fuerza tiene una naturaleza vectorial? ¿Qué elementos son necesarios para determinar totalmente una fuerza?
- Transforma** las siguientes fuerzas de kilopondios a newtons, y viceversa: 241,9 kp; 4 385,5 N.
- Un buque es remolcado por dos barcas que ejercen fuerzas perpendiculares entre sí de valores 3 500 N y 5 800 N. **Dibuja** un esquema de las fuerzas y **determina** la fuerza resultante.
- Expresa** matemáticamente la segunda ley de Newton y enúnciala.
- Se arrastra por el suelo una silla de 2,5 kg mediante una fuerza horizontal de 18 N. Si el coeficiente de rozamiento es de 0,34, **calcula** la aceleración de la silla y la distancia que recorre en 10 s.
- ¿Qué nombre recibe la fuerza que es preciso aplicar a un cuerpo para que este siga una trayectoria circular?
- Dibuja** un esquema de los modelos geocéntrico y heliocéntrico del universo.
  - **Explica** resumidamente las principales diferencias entre ambos modelos.
- Halla** la fuerza gravitatoria entre un planeta de masa  $2,34 \cdot 10^{25}$  kg y su satélite, de masa  $6,65 \cdot 10^{12}$  kg, situado a una distancia de  $5,4 \cdot 10^{10}$  m del planeta.
- ¿Qué tipos de satélites artificiales conoces? **Cita** las principales aplicaciones de cada uno y **reflexiona** sobre la conveniencia de dejarlos en el espacio una vez terminada su función.



## Para finalizar

- 1 Explica** cómo se determina gráficamente el valor de la fuerza resultante de dos fuerzas concurrentes cualesquiera.
- 2 Calcula** cuántos newtons son 30 kp y a cuántos kilopondios equivalen 14,7 N.
- 3** ¿Cuál de estas dos fuerzas es mayor: 18 kp o 175 N?
- 4** Sobre un muelle de constante elástica 12 N/m y longitud inicial 10 cm se aplica una fuerza de 2 N. **Determina** la longitud final del muelle.
- 5** Un muelle se alarga 20 cm cuando ejercemos sobre él una fuerza de 24 N. **Calcula:**
  - El valor de la constante elástica del muelle.
  - El alargamiento del muelle al aplicar una fuerza de 60 N.
- 6** Un cuerpo está sometido a dos fuerzas concurrentes de 11 N y 16 N. **Dibuja** la fuerza resultante y **calcula** su módulo en cada uno de los siguientes casos:
  - Las fuerzas tienen la misma dirección y el mismo sentido. El valor de la constante elástica del muelle.
  - Las fuerzas tienen la misma dirección y sentido contrario.
- 7** La resultante de dos fuerzas perpendiculares es de 7,6 N y una de ellas vale 3 N. **Determina** el módulo de la otra fuerza.
- 8** El módulo de la fuerza resultante de dos fuerzas perpendiculares es 5 N y la suma de los módulos de estas fuerzas es 7 N. **Calcula** el valor de los módulos de ambas fuerzas. ¿Cómo se determina gráficamente el valor de la fuerza resultante de dos fuerzas concurrentes cualesquiera?
- 9** Sobre un cuerpo actúan dos fuerzas,  $F_1 = 5 \text{ N}$  y  $F_2 = 12 \text{ N}$ , formando un ángulo de  $90^\circ$ . ¿Qué fuerza debe aplicarse al cuerpo para que permanezca en reposo?
- 10** Dos fuerzas paralelas y del mismo sentido, de módulos  $F_1 = 10 \text{ N}$  y  $F_2 = 4 \text{ N}$ , actúan perpendicularmente sobre los extremos de una barra de 1 m de longitud.
  - Dibuja** un esquema con las fuerzas que actúan sobre la barra y su resultante.
  - Determina** el módulo de la resultante y su punto de aplicación.
- 11** En dos puntos de una varilla separados 2,5 m se aplican dos fuerzas,  $F_1 = 8 \text{ N}$  y  $F_2 = 2 \text{ N}$ , perpendiculares a la varilla y de sentido contrario.
  - Dibuja** un esquema con las fuerzas que actúan sobre la varilla y su resultante.
  - Determina** el módulo de la resultante y su punto de aplicación.
- 12** Desde dos pueblos, A y B, que distan 2 km, salen al encuentro dos automóviles. El primero parte de A desde el reposo con una aceleración de  $2 \text{ m/s}^2$ . El segundo sale de B 2s más tarde con una velocidad constante de 72 km/h. **Calcula** el tiempo que tardan en encontrarse y su posición en ese instante.
- 13** Una curva de un velódromo tiene 50 m de radio. Suponiendo que no existe rozamiento, **calcula:**
  - La máxima velocidad con la que un ciclista puede tomar la curva sin derrapar si está peraltada un ángulo de  $30^\circ$ .
  - El ángulo de peralte necesario para que el ciclista pueda tomar la curva a una velocidad de 80 km/h.

14 La aceleración de un movimiento rectilíneo viene dada por la ecuación  $a = (12t^2 - 6t)\mathbf{i}$ .

**Calcula** las ecuaciones de la velocidad y de la posición en función del tiempo, sabiendo que en el instante inicial  $v_0 = 5\mathbf{i}$  m/s y  $r_0 = -5\mathbf{j}$  m

15 Se lanza un proyectil desde 10 m de altura con una velocidad inicial de 360 km/h que forma un ángulo de  $40^\circ$  con la horizontal.

**Calcula:**

- La altura máxima
- La posición 3 s después del lanzamiento.
- El alcance.

16 ¿Cuánto tardará en pararse un disco que gira a 60 rpm si empieza a frenar con una aceleración angular constante de  $2 \text{ rad/s}^2$ ?

17 **Explica** las características principales de las fuerzas de acción y reacción.

18 Un patinador de 75 kg de masa, que está parado en el centro de una pista de hielo, lanza un disco de 300 g con una velocidad de 12 m/s. ¿Qué velocidad tendrá el patinador inmediatamente después del lanzamiento?

19 Un objeto de 150 g unido al extremo de una cuerda gira sobre una mesa horizontal con MCU de radio 20 cm. La cuerda pasa por un agujero practicado en la mesa y está unida por el otro extremo a un cuerpo de 1,5 kg que está en reposo.

- Dibuja** un esquema de las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo.
- Calcula** la velocidad lineal con que gira el cuerpo que está sobre la mesa y las componentes tangencial y normal de la aceleración.

20 **Calcula** el momento de inercia de la Tierra en su giro alrededor del Sol. Para ello, considera la Tierra un cuerpo puntual de  $6 \times 10^{24}$  kg de masa que gira en una órbita circular de  $1,5 \times 10^8$  km de radio alrededor del Sol.

21 Un disco circular en reposo de 0,5 m de radio y  $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  de momento de inercia lleva una cuerda sin masa enrollada en su periferia. Si tiramos de la cuerda con una fuerza constante de 2 N y el rozamiento es despreciable, **calcula:** a. la aceleración angular del disco; b. la longitud de cuerda desenrollada al cabo de 10 s.

## EVALUACIÓN

Reflexiona y **autoevalúate** en tu cuaderno:

### • Trabajo personal

¿Cómo ha sido mi actitud frente al trabajo?

¿He cumplido mis tareas?

¿Qué aprendí en esta unidad?

### • Trabajo en equipo

¿He compartido con mis compañeros y compañeras?

¿He respetado las opiniones de los demás?

• **Escribe** la opinión de tu familia.

• **Pide** a tu profesor o profesora sugerencias para mejorar y **escribelas**.

# 3

# Electricidad y magnetismo

## CONTENIDOS:

1. **Naturaleza de la electricidad**
  - 1.1. Electrización
  - 1.2. Métodos de electrización
  - 1.3. ¿Cómo se mide la carga eléctrica?
  - 1.4. Materiales conductores y materiales aislantes
2. **Fuerzas eléctricas**
  - 2.1. Ley de Coulomb
3. **Campo eléctrico**
  - 3.1. Líneas de fuerza
  - 3.2. Intensidad del campo eléctrico
4. **Corriente eléctrica**
  - 4.1. Generadores eléctricos
  - 4.2. Receptores eléctricos
5. **Componentes de un circuito eléctrico**
  - 5.1. Sentido de la corriente en un circuito
  - 5.2. Conexión de receptores en un circuito
6. **Magnitudes eléctricas**
  - 6.1. Intensidad de corriente eléctrica
  - 6.2. Diferencia de potencial
  - 6.3. Resistencia eléctrica
  - 6.4. Ley de Ohm
7. **Transformaciones de energía en un circuito**
  - 7.1. El efecto Joule
  - 7.2. Potencia eléctrica
8. **Producción y transporte de la corriente eléctrica**
9. **La electricidad en casa**
10. **Magnetismo**
  - 10.1. El campo magnético
  - 10.2. Campos magnéticos ocasionados por corrientes eléctricas
  - 10.3. Corrientes eléctricas producidas por campos magnéticos



## Noticia

La historia de la electricidad se refiere al estudio y uso humano de la electricidad, al descubrimiento de sus leyes como fenómeno físico y a la invención de artefactos para su uso práctico. Uno de sus hitos iniciales puede situarse hacia el año 600 a. C., cuando el filósofo griego Tales de Mileto observó que frotando una varilla de ámbar con una lana o piel, se obtenían pequeñas cargas (efecto triboeléctrico) que atraían pequeños objetos, y frotando mucho tiempo podía causar la aparición de una chispa.

Fuente: <https://goo.gl/4ZQR2k>

<http://goo.gl/4Hf9GM>

## EN CONTEXTO

Después de leer lo anterior:

- Haga un breve resumen sobre la evolución histórica de la electricidad desde la Edad Antigua hasta nuestros días, citando los científicos que realizaron sus aportes al desarrollo de la electricidad.
- Explique ¿Por qué al frotar dos cuerpos ambos adquieren cargas eléctricas?
- ¿Cuántos tipos de cargas eléctricas existen en la naturaleza y qué ley rige la interacción entre ellas?

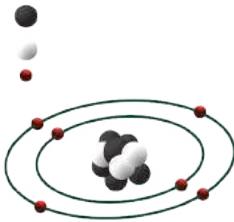


Prohibida su reproducción





■ Pluma atraída por el ámbar.



■ Interior de un átomo.

### Y TAMBIÉN:



La **electrización** se debe a la **transferencia de electrones** de un cuerpo a otro.

# I. NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD

Desde hace tiempo se sabe que ciertos materiales, al ser frotados con fuerza con otros, adquieren la propiedad de atraer cuerpos ligeros, como trocitos de papel, cabellos, pequeñas plumas de ave.

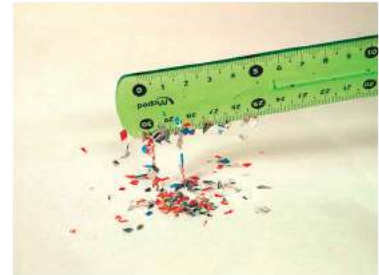
Ya en el siglo VII a. C., el filósofo griego Tales de Mileto (hacia el 624 a. C.-548 a. C.) citaba la propiedad del ámbar, una resina fósil, de atraer cuerpos ligeros después de frotarlo con lana. Precisamente, el término electricidad procede del griego elektron, que significa "ámbar".

## 1.1 Electrización

Observa esta experiencia.

### Ejemplo 1

- Frotamos fuertemente una varilla de plástico con una prenda de lana.
- Acercamos la varilla a los trocitos de papel extendidos sobre la mesa.
- La varilla de plástico atrae los trocitos de papel.



https://goo.gl/UGI6ax

Este hecho experimental se interpreta admitiendo que la varilla de plástico ha quedado cargada eléctricamente. Este fenómeno se denomina *electrización*.

La **electrización** es el fenómeno por el cual los cuerpos adquieren **carga eléctrica**.

—¿De dónde proviene la carga?

Como sabes, toda la materia está formada por átomos. Pues bien, las cargas son partículas constituyentes de los átomos.

- El núcleo del átomo está formado por **protones**, que son partículas con carga eléctrica positiva, y por **neutrones**, que son partículas sin carga eléctrica.
- La corteza del átomo se compone de **electrones**, que son partículas con carga eléctrica negativa.

La carga eléctrica de un protón es igual a la de un electrón, pero de signo opuesto. Y, dado que el número de protones de un átomo es igual al número de electrones, el átomo es neutro. Ahora bien, un átomo puede ganar o perder electrones, con lo que queda cargado eléctricamente.

Un **cuerpo** es **neutro** si sus átomos tienen tantas cargas positivas como negativas; está **cargado positivamente** si sus átomos tienen un defecto de electrones, y está **cargado negativamente** si sus átomos tienen un exceso de electrones.

—¿Cómo interactúan las cargas eléctricas?

Sabemos que los cuerpos pueden tener carga eléctrica positiva, carga eléctrica negativa o no tener carga eléctrica neta. Ahora vamos a ver qué sucede cuando aproximamos entre sí cuerpos cargados eléctricamente. Para ello utilizaremos el péndulo eléctrico, que consiste en una pequeña bola de un material muy ligero, como corcho, papel o médula de saúco, colgada de un hilo de seda muy fino.

## Ejemplo 2

Tomamos dos varillas de plástico y las frotamos con un paño de lana.

Las dos varillas adquieren el mismo tipo de carga eléctrica.

A continuación, tocamos con una de las varillas la bola del péndulo eléctrico, con lo que parte de la carga de la varilla pasa a la bola del péndulo.

Si ahora tomamos la otra varilla y la acercamos a la bola, esta se separa de la varilla.

Ahora, tomamos una varilla de vidrio y la frotamos con un pañuelo de seda.

Si la acercamos a la bola, que ha recibido parte de la carga eléctrica de la varilla de plástico, observamos que ahora la bola es atraída por la varilla de vidrio.



A partir de estas experiencias y de otras similares se deduce que:

—Existen dos clases de cargas eléctricas que reciben el nombre de positiva, como la que adquiere una varilla de vidrio frotada con seda, y negativa, como la de una varilla de plástico frotada con lana.

—Los cuerpos con cargas del mismo signo se repelen, mientras que los cuerpos con cargas de signo contrario se atraen.

## Actividades

1. ¿Qué hace que un cuerpo adquiera carga negativa? ¿Y que adquiera carga positiva?
2. **Realiza** la experiencia que se describe en el Ejemplo 2. **Utiliza** un esferográfico de plástico y una prenda de lana. **Da** una explicación de los hechos observados.
3. Las bolas de dos péndulos eléctricos se electrizan con carga negativa. A continuación, acercamos los dos péndulos.
  - a. ¿Qué les sucederá a las bolas de los péndulos? **Dibuja** la situación final de los dos péndulos.
  - b. ¿Qué ocurriría si una de las bolas hubiera sido electrizada con carga positiva y la otra con carga negativa? **Dibuja** la situación final en este caso.
4. Si acercas tu mano a una pantalla de televisor que acaba de apagarse, notarás unas pequeñas vibraciones o crujidos. ¿A qué crees que se deben?

## 1.2 Métodos de electrización

Hasta ahora hemos visto dos formas para conseguir que un cuerpo neutro adquiriera carga eléctrica:

- Frotarlo con otro cuerpo. Este método se conoce como **electrización por frotamiento**.  
Al frotar la varilla de vidrio con el pañuelo de seda, la varilla cede electrones y queda cargada positivamente, mientras que el pañuelo los adquiere y queda cargado negativamente.  
Al frotar la varilla de plástico con el paño de lana, la primera adquiere carga negativa, mientras que el segundo adquiere carga positiva.
- Ponerlo en contacto directo con un cuerpo que tenga carga eléctrica. Es la denominada **electrización por contacto**.  
Al establecer el contacto entre la varilla electrizada y la bola del péndulo, parte de la carga de la primera pasa a la segunda y ambos cuerpos quedan cargados con cargas eléctricas del mismo signo, por lo que se repelen.

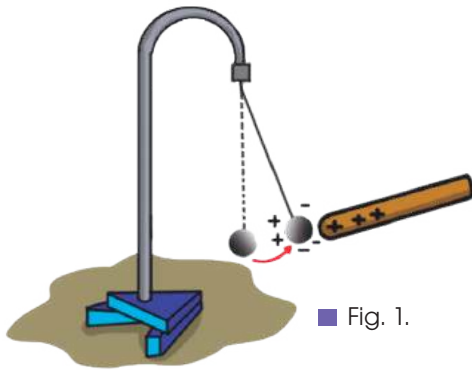


Fig. 1.

Pero también podemos conseguir cargar un cuerpo neutro al aproximar este a otro cuerpo cargado eléctricamente sin que se toquen. Es la llamada **electrización por inducción**. El cuerpo cargado provoca una redistribución de las cargas del cuerpo neutro, de modo que su carga neta no varía, pero una zona queda con carga positiva y otra con carga negativa.

Cuando acercamos la varilla de vidrio electrizada a la bola neutra, se produce una redistribución de las cargas eléctricas en esta última. La mayor proximidad de las cargas negativas a la varilla hace que la bola sea atraída.

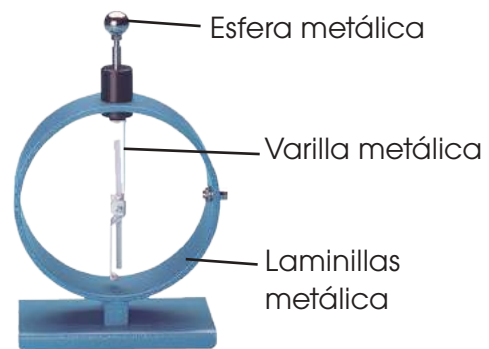
### Ejemplo 3

Una de las aplicaciones de la electrización por contacto es el electroscopio, un aparato que detecta si un cuerpo está cargado eléctricamente.

Puedes construir tu propio electroscopio. Como puedes ver en la figura, un electroscopio consta de un recipiente de vidrio cuyo tapón está atravesado por una varilla metálica. Esta varilla acaba en su extremo inferior con dos finas laminillas de oro o de aluminio. El otro extremo termina en una esfera metálica.

Para saber si un cuerpo está cargado o no, es suficiente tocar con él la esfera del electroscopio. Si el cuerpo está cargado, parte de sus cargas eléctricas llegan, a través de la varilla metálica, a las laminillas metálicas. Al quedar cargadas con carga del mismo signo, las laminillas se repelen y separan entre sí.

Si se quiere usar el electroscopio con otro cuerpo, primero hay que descargarlo. Para ello, se conecta la esfera metálica al suelo mediante un hilo metálico. Así, las cargas de las laminillas pasan a tierra y estas ya no se repelen.



<https://goo.gl/HtG5K>

5. ¿Puede un cuerpo con carga eléctrica atraer a un cuerpo sin carga? Razona tu respuesta.
6. **Dibuja** cómo se redistribuirán las cargas eléctricas de un cuerpo neutro aislado si le aproximamos: a. un cuerpo con carga eléctrica negativa; b. un cuerpo con carga positiva.
7. **Di** por qué métodos se electrizan los cuerpos en las siguientes experiencias y **explica** el proceso que tiene lugar:
  - a. Frotamos una varilla de vidrio con un pañuelo de seda. La varilla atrae la bola del péndulo eléctrico cuando se acercan.
  - b. Hacemos que la bola del péndulo entre en contacto con la varilla de vidrio. Al poco tiempo, la bola es repelida por la arilla.
8. ¿Qué les sucede a las laminillas de un electroscopio con carga positiva si tocamos su esfera con un cuerpo con carga negativa? ¿Y si la carga del cuerpo también fuera positiva?

### Actividades

### 1.3 ¿Cómo se mide la carga eléctrica?

La magnitud carga eléctrica se simboliza con la letra  $Q$  y su unidad en el SI es el culombio (C), que equivale al valor absoluto de la cantidad de carga eléctrica de  $6,3 \cdot 10^{18}$  electrones.

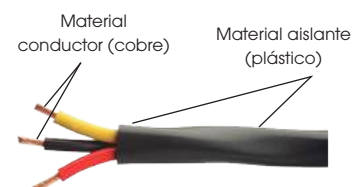
Sin embargo, la carga de un culombio es extremadamente grande para los fenómenos electrostáticos habituales; por ejemplo, al electrizar por frotamiento un esferográfico de plástico, este puede quedar cargado tan solo con un número de electrones del orden de varios miles. Por esta razón, frecuentemente se utilizan unidades de carga más pequeñas.

#### Y TAMBIÉN:

Es habitual trabajar con unidades que son submúltiplos del culombio, como el miliculombio (mC), el microculombio ( $\mu\text{C}$ ), el nanoculombio (nC) o el picoculombio (pC).

$$1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C} \quad 1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$$
$$1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C} \quad 1 \text{ pC} = 10^{-12} \text{ C}$$

En realidad, no hay conductores ni aislantes perfectos. Así, si decimos que un material es aislante, esto significa que conduce poca electricidad.



<http://goo.gl/YekJZ>

#### Ejemplo 4

¿Cuánto vale la carga eléctrica de un electrón?

Un culombio es el valor absoluto de la cantidad de carga eléctrica de  $6,3 \cdot 10^{18}$  electrones. Además, a la carga del electrón se le asigna el signo negativo. Por tanto:

$$Q_{\text{electrón}} = - \frac{1}{6,3 \cdot 10^{18}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

### 1.4 Materiales conductores y materiales aislantes

Supón que tienes una varilla de madera unida en uno de sus extremos a una varilla metálica. Si tocas el extremo libre de la varilla de madera con un cuerpo cargado eléctricamente, la varilla adquiere carga en dicho extremo, pero esta carga no se transmite a la varilla metálica.

Si, en cambio, sustituyes la varilla de madera por otra varilla metálica y repites el proceso, puedes comprobar que la segunda varilla metálica también queda cargada.

Hay, por tanto, distintos tipos de materiales según su comportamiento eléctrico:

- Los materiales conductores son aquellos que permiten que las cargas eléctricas se desplacen libremente por su interior.

Los metales son materiales conductores. Así, el cobre es el material comúnmente empleado para transportar la electricidad en las instalaciones eléctricas de nuestras casas.

- Los materiales aislantes son aquellos que no permiten el libre desplazamiento de las cargas eléctricas por su interior.

Ejemplos de materiales aislantes son el plástico, el vidrio o la madera.

9. ¿Cuántos electrones le faltan a un cuerpo que tiene una carga de  $+0,25 \text{ C}$ ?
10. Al frotar fuertemente una lámina de plástico con una prenda de lana, la lámina adquiere una carga eléctrica de  $0,35 \text{ pC}$ . ¿Cuántos electrones en exceso tiene la lámina?
11. Los cables de la conducción eléctrica están forrados con un material plástico. ¿Por qué?  
—**Explica** por qué los electricistas emplean herramientas con mango de madera o de plástico.

#### Actividades

Prohibida su reproducción

## Y TAMBIÉN:



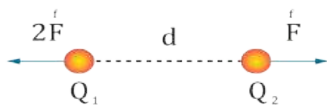
Una **fuerza** es toda acción capaz de alterar el estado de reposo o de movimiento de los cuerpos o de producir en ellos alguna deformación.

Las **fuerzas** son **vectores**. Por tanto, una fuerza solo queda totalmente determinada cuando se conocen, además de su valor o módulo, la dirección y el sentido de su aplicación.

En ocasiones, los cuerpos cargados eléctricamente tienen un tamaño tan pequeño que puede ser despreciado en los cálculos. Entonces consideramos que su carga está concentrada en un punto y nos referimos a ellos como cargas puntuales.

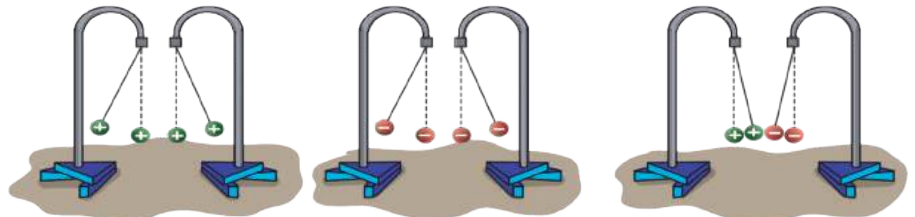
Las fuerzas eléctricas entre dos cargas puntuales son vectores con estas características:

- La dirección es la de la recta que pasa por las cargas.
- El sentido depende del signo de las cargas: la fuerza es repulsiva si las cargas son del mismo signo y atractiva si tienen signo contrario.
- El módulo o intensidad viene dado por la ley de Coulomb.



## 2. FUERZAS ELÉCTRICAS

Como sabes, dos cuerpos cargados se atraen si sus cargas son de signo contrario y se repelen si son del mismo signo. Así, al acercar dos péndulos eléctricos cargados que están en reposo, los péndulos se moverán debido a la repulsión (figuras 2 y 3) o la atracción (figura 4), causada por las fuerzas eléctricas o electrostáticas entre sus cargas.



■ Fig. 2.

■ Fig. 3.

■ Fig. 4.

Las **fuerzas eléctricas**, o también llamadas **electrostáticas**, son las fuerzas atractivas o repulsivas que aparecen entre los cuerpos que poseen cargas eléctricas.

A continuación, veremos cómo se calcula el valor o intensidad de estas fuerzas.

### 1.2 Ley de Coulomb

El físico francés **Charles Coulomb** (1736-1806) estudió cuantitativamente los fenómenos de atracción y repulsión entre cargas eléctricas.

En su honor, llamamos culombio a la unidad de carga eléctrica y **ley de Coulomb** a la ley que relaciona la fuerza electrostática con las magnitudes de las que depende.

Esta ley se enuncia así:

La **intensidad** de la **fuerza** de atracción o de repulsión entre dos cargas puntuales es **directamente proporcional** al producto de las cargas e **inversamente proporcional** al **cuadrado** de la **distancia** que las separa.

Matemáticamente, la ley de Coulomb se expresa así:

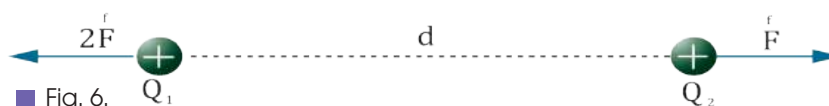
$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

F = intensidad de la fuerza electrostática

$Q_1$  y  $Q_2$  = carga eléctrica (en valor absoluto)

d = distancia entre las cargas

K = constante de proporcionalidad



■ Fig. 6.

El valor de la constante de proporcionalidad K depende del medio. En el vacío es igual a  $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ . Para saber su valor en otros medios puedes consultar la tabla 1 de la página siguiente.

## Ejemplo 5

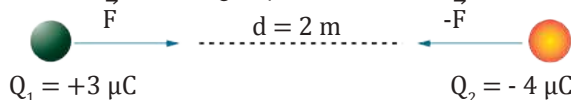
Dos cargas puntuales de 13 mC y 24 mC están situadas en el vacío a una distancia de 2 m una de otra.

- Representa las cargas eléctricas y las fuerzas que actúan sobre ellas.
- Calcula la intensidad de la fuerza con que se atraen mutuamente.

—Datos del problema:  $Q_1 = 13 \text{ mC}$   $Q_2 = 24 \text{ mC}$   $d = 2 \text{ m}$

Dato que debemos calcular:  $F$

- Representamos las cargas y los vectores fuerza.



- Expresamos los datos en unidades del SI.

$$Q_1 = +3 \mu\text{C} = +3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \qquad Q_2 = -4 \mu\text{C} = -4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$d = 2 \text{ m}$$

Determinamos el valor de la constante de proporcionalidad. Al tratarse del vacío,  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ .

Aplicamos la ley de Coulomb.

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(2 \text{ m})^2}$$

$$F = 27 \cdot 10^{-3} \text{ N} = 0,027 \text{ N}$$

Las cargas se atraen mutuamente con una fuerza de 0,027 N.

Medio	$K \text{ (N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$
Aire	$9 \cdot 10^9$
Hielo	$3,1 \cdot 10^9$
Azufre	$2,25 \cdot 10^9$
Vidrio	$2 \cdot 10^9$
Petróleo	$1,6 \cdot 10^9$
Agua	$1,12 \cdot 10^8$

■ Tabla 1.

- Las moléculas de vapor de agua son neutras, pero una zona de la molécula tiene carga positiva y la otra negativa. Así, el exceso de electrones de un cuerpo cargado negativamente puede pasar a las moléculas de vapor de agua del aire circundante, y un cuerpo con carga positiva puede neutralizarse con los electrones incorporados en las moléculas de agua. Teniendo esto en cuenta, ¿cuándo será posible observar con mayor intensidad la fuerza de repulsión electrostática entre los pelos de tu cabeza al peinarlos enérgicamente con un peine de plástico, en un día seco o en un día húmedo?
- Di** si estas afirmaciones son verdaderas o falsas: a. las fuerzas electrostáticas son siempre repulsivas; b. si aumenta la distancia entre dos cuerpos cargados, disminuye la fuerza de repulsión; c. la ley de Coulomb solo es válida en el vacío.
- ¿Cómo se refleja en la fórmula de la ley de Coulomb el hecho de que la fuerza eléctrica depende del medio en que se encuentran las cargas?
- Observa** la tabla 1 y razona en qué medio las cargas eléctricas se atraen o repelen con mayor fuerza.
- Dos cargas puntuales de  $+3,5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  y  $+5,6 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  están situadas en el vacío a 25 cm de distancia.
  - Representa** las fuerzas electrostáticas mediante vectores.
  - Calcula** la intensidad de estas fuerzas.
- Dos cargas puntuales se repelen con una fuerza de valor  $F$ . ¿Cuál es el nuevo valor de la fuerza electrostática si se triplica la distancia que separa las cargas? —¿Y si la distancia inicial se reduce a la mitad?
- Dos minúsculas esferas que tienen cargas eléctricas de  $+18 \text{ nC}$  y  $-24 \text{ nC}$  están situadas en el aire a 15 cm de distancia.
  - Representa** las fuerzas electrostáticas mediante vectores.
  - Calcula** la intensidad de estas fuerzas.
- Dos cargas eléctricas puntuales se atraen con una fuerza de 6,45 N cuando se sitúan en el vacío a 18 cm de distancia. Si el valor de la primera carga es  $+5,4 \text{ mC}$ , ¿cuál es el valor de la otra carga? ¿Cuál es su signo?

## Actividades

## 3. CAMPO ELÉCTRICO



■ Fig. 7.

la fuerza será atractiva.

Imagina dos pequeños cuerpos cargados eléctricamente, situados a poca distancia uno de otro. Si las cargas eléctricas de estos cuerpos,  $Q_1$  y  $Q_2$ , son del mismo signo, experimentarán una fuerza eléctrica repulsiva. Y si son de signo contrario, la fuerza será atractiva.

Esta fuerza se manifiesta sea cual sea el medio que separa los cuerpos, incluso si los cuerpos están en el vacío. Es decir, las fuerzas eléctricas no necesitan una sustancia o medio material para transmitirse.

Este hecho nos permite suponer que la carga  $Q_1$  modifica de alguna forma el espacio que la rodea, de modo que si colocamos en cualquier punto de este espacio una carga eléctrica  $Q_2$ , aparecerá una fuerza eléctrica sobre esta.

Llamamos **campo eléctrico** a la perturbación que un cuerpo produce en el espacio que lo rodea por el hecho de tener carga eléctrica, y a causa de la cual se manifiestan fuerzas eléctricas sobre otro cuerpo cargado, situado en dicho espacio. La naturaleza real del campo se establece posteriormente, por las ondas electromagnéticas.

La introducción del campo, por ahora, es un formalismo matemático, pero en realidad el campo existe. Esto se aclarará en cursos superiores.

### 3.1 Líneas de fuerza

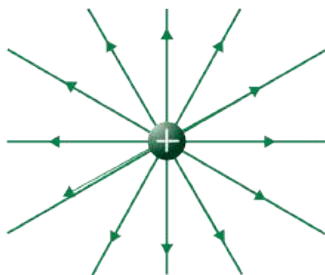
Imagina que queremos representar el **campo eléctrico** creado por una carga eléctrica  $Q_1$ .

Para ello, situamos en los alrededores de  $Q_1$  una pequeña carga positiva  $Q_2$ , a la que llamamos carga de prueba. Esta experimentará cierta fuerza eléctrica.

A partir de las fuerzas eléctricas que actúan sobre  $Q_2$  en varios puntos del espacio, podemos dibujar unas líneas que se denominan líneas de fuerza y representan el campo eléctrico creado por  $Q_1$ .

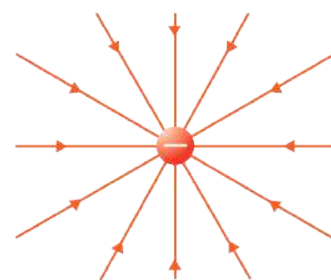
Las **líneas de fuerza** de un campo eléctrico se dibujan de manera que en cada punto sean tangentes a la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga de prueba positiva situada en dicho punto y de manera que tengan el mismo sentido que la fuerza.

En las figuras puedes ver la representación de los campos eléctricos creados por una carga puntual positiva y por una carga puntual negativa.



■ Fig. 8.

Las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por una carga positiva salen de la carga en dirección radial.



■ Fig. 9.

Las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por una carga negativa entran en la carga en dirección radial.

### 3.2 Intensidad del campo eléctrico

Consideremos una carga  $Q$  que crea un campo eléctrico en el espacio que la rodea. Si colocamos en este campo una carga de prueba  $q$ , comprobaremos que la fuerza electrostática que experimenta no tiene el mismo valor en unos puntos que en otros.

Para cuantificar el campo eléctrico se introduce la magnitud **intensidad del campo eléctrico**.

Llamamos **intensidad del campo eléctrico** en un punto del espacio a la fuerza que experimenta la unidad de carga positiva colocada en ese punto.

La intensidad del campo eléctrico se representa con la letra  $\vec{E}$ . Es una **magnitud vectorial**, ya que es la fuerza que actúa sobre la unidad de carga positiva.

- Su **dirección** es tangente a las líneas de fuerza en cada punto y su **sentido** coincide con el de estas.
- Su **módulo** se calcula dividiendo el módulo de la fuerza eléctrica que actúa sobre la carga de prueba  $q$  entre el valor de esta carga.

$$E = \frac{F}{q}$$

La unidad de intensidad del campo eléctrico en el SI es el **newton por culombio** (N/C).

Al dividir  $F$  entre  $q$  se obtiene una magnitud independiente de la carga de prueba utilizada. Así, la intensidad del campo eléctrico en un punto depende solo de la carga o cargas que crean el campo, de la distancia a dichas cargas y del medio en que se hallan.

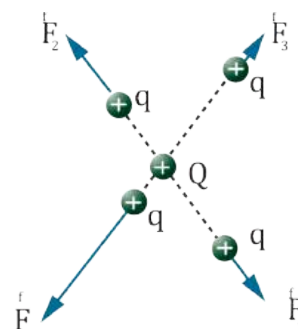


Fig. 10.

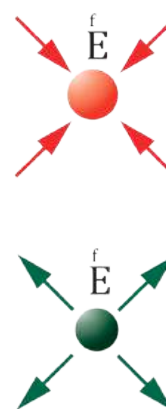


Fig. 11.

Ejemplo 6

Una carga puntual  $q = -5 \text{ nC}$  experimenta una fuerza de  $4,8 \cdot 10^{-3} \text{ N}$  en un punto del espacio.  
—¿Cuánto vale la intensidad del campo eléctrico en dicho punto?

Aplicamos la expresión de la intensidad del campo eléctrico.

$$E = \frac{F}{q} = \frac{4,8 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{5 \cdot 10^{-9} \text{ C}} = 9,6 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

20. **Di** si las siguientes afirmaciones acerca del campo eléctrico son verdaderas o falsas (**corrige** estas últimas).

- a. Se representa mediante líneas de fuerza.
- b. Es creado por las cargas eléctricas.
- c. Su intensidad es igual a la fuerza multiplicada por la carga.
- d. Su intensidad se mide en newtons por culombio.
- e. Solo afecta a las cargas eléctricas positivas.

f. La fuerza eléctrica sobre una carga positiva tiene el mismo sentido que la intensidad del campo eléctrico.

21. Cuando colocamos una carga  $q = +5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  en un punto de un campo eléctrico experimenta una fuerza de  $1,2 \text{ N}$ . **Calcula** la intensidad del campo eléctrico en dicho punto.

22. Una carga de  $-245 \text{ nC}$  se sitúa en un punto donde la intensidad del campo eléctrico es de  $500 \text{ N/C}$ . **Determina** la fuerza que se ejercerá sobre ella.

Actividades



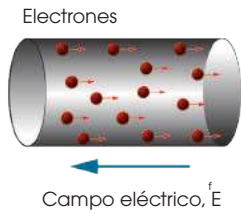


Fig. 12.

### Y TAMBIÉN:



El **generador** no crea energía, solo **transforma** alguna forma de energía (mecánica, solar, química...) en **energía eléctrica**, poniendo a los electrones en movimiento.

## 4. CORRIENTE ELÉCTRICA

La expresión corriente eléctrica se utiliza con frecuencia en nuestra vida cotidiana. Así, decimos que un aparato funciona gracias a la corriente eléctrica o que la corriente eléctrica nos puede electrocutar. Pero, ¿qué es y cómo se origina la corriente eléctrica?

Cuando aplicamos un campo eléctrico a un conductor, las cargas eléctricas se desplazan por su interior, originándose una corriente eléctrica. En el caso de un conductor metálico, cuando aplicamos el campo, sus electrones libres son sometidos a una fuerza eléctrica y se desplazan dentro del conductor en sentido contrario al campo eléctrico.

Se denomina **corriente eléctrica** al desplazamiento conjunto de las cargas eléctricas a través de un material conductor.

### 4.1 Generadores Eléctricos

Las cargas eléctricas en movimiento tienen asociada una forma de energía que llamamos **energía eléctrica**. Para conseguir un desplazamiento permanente de cargas eléctricas, a través de un conductor, es necesario disponer de un instrumento que genere un campo eléctrico y proporcione a las cargas la energía eléctrica necesaria.

Llamamos **generador eléctrico** a todo dispositivo capaz de transformar alguna forma de energía en energía eléctrica.

La cantidad de energía eléctrica que el generador proporciona a las cargas que pasan por él se relaciona con una magnitud llamada fuerza electromotriz.

Llamamos **fuerza electromotriz** a la energía que el generador comunica a cada unidad de carga que lo atraviesa.

La fuerza electromotriz (fem) se representa con la letra griega épsilon, « $\epsilon$ », y su unidad en el SI es el **voltio (V)**.

Cuando decimos que una pila es de 1,5 V o de 4,5 V, nos estamos refiriendo a su fuerza electromotriz.

#### Clases de generadores eléctricos

Según el tipo de energía que transforman en energía eléctrica, los generadores pueden clasificarse en varios tipos: *mecánicos*, *solares* y *químicos*.

Tipo de generador	Mecánico	Solar
Descripción	Son dispositivos que transforman la energía mecánica en energía eléctrica, como las dinamos y los alternadores.	Son dispositivos que transforman la energía solar en energía eléctrica, como las células solares o fotovoltaicas.
Ejemplos	 <a href="http://goo.gl/9fwdfi">http://goo.gl/9fwdfi</a>	 <a href="http://goo.gl/0WUXWx">http://goo.gl/0WUXWx</a>

Tipo de generador	Químico
Descripción	Son dispositivos que transforman la energía química en energía eléctrica, como las pilas y los acumuladores (o baterías).
Ejemplos	 <a href="http://goo.gl/bFHmK5">http://goo.gl/bFHmK5</a>

■ Tabla 2.





## 4.2 Receptores Eléctricos

La energía eléctrica se puede transformar en otras formas de energía: mecánica, calorífica, luminosa, química, entre otras. Esta transformación se lleva a cabo en los *receptores eléctricos*.

Las **fuerzas eléctricas**, o también llamadas **electrostáticas**, son las fuerzas atractivas o repulsivas que aparecen entre los cuerpos que poseen cargas eléctricas.

### — Clases de receptores eléctricos

Según el tipo de energía en que transforman la energía eléctrica, los receptores se clasifican en varios tipos:

Tipo de receptor	Térmico	Lumínico	Mecánico	Químico
Descripción	Transforma energía eléctrica en calor.	Transforma energía eléctrica en luz.	Transforma energía eléctrica en energía mecánica.	Transforma energía eléctrica en energía química.
Ejemplos	Estufa eléctrica  <a href="http://goo.gl/3ifDr7">http://goo.gl/3ifDr7</a>	Lámpara  <a href="http://goo.gl/1i3Puq">http://goo.gl/1i3Puq</a>	Motor eléctrico  <a href="http://goo.gl/JYuN5m">http://goo.gl/JYuN5m</a>	Cuba galvánica para recubrimientos metálicos  <a href="http://goo.gl/P2Xzlp">http://goo.gl/P2Xzlp</a>

■ Tabla 3.

23. **Describe** qué se necesita para producir una corriente eléctrica.
24. ¿Qué es la fuerza electromotriz de un generador? ¿Por qué no se mide en newtons?
25. ¿Qué clases de generadores eléctricos hay? **Investiga** su fundamento y **pon** ejemplos de aparatos provistos de cada uno de los diferentes tipos de generadores.
26. Como sabes, se recomienda depositar las pilas eléctricas, una vez usadas, en contenedores especiales.  
—**Busca** información sobre los motivos de esta recomendación.
27. **Haz** una lista de los receptores eléctricos que se encuentran en tu casa. **Clasificalos** según el tipo de energía que producen.

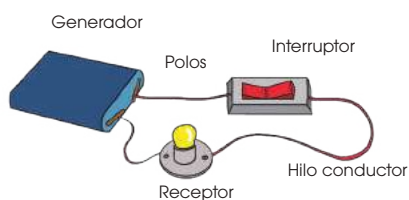
Actividades

## 5. COMPONENTES DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO

En la unidad anterior estudiamos en qué consiste la corriente eléctrica y cómo se origina en un generador. Ahora bien, para poder utilizar la corriente eléctrica que produce el generador se necesita un circuito eléctrico.

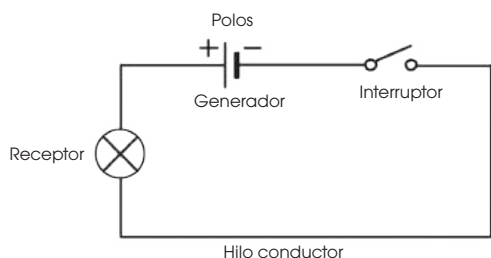
Un **circuito eléctrico** es un sistema en el que la corriente eléctrica que procede de un generador vuelve a este después de ser utilizada de algún modo.

En el circuito, la corriente efectúa un recorrido cerrado. Es decir, sale del generador por uno de sus **polos** o **bornes** y vuelve a este por el otro polo después de pasar por todos los componentes del circuito.



■ Circuito eléctrico elemental.

■ Fig. 13.



■ Esquema de un circuito eléctrico.

■ Fig. 14.

### Corriente continua/ Corriente alterna

- La corriente continua es aquella en que el movimiento de los electrones mantiene siempre el mismo sentido. Las dinamos y las pilas producen corriente continua.
- La corriente alterna es aquella en la que el sentido del movimiento de los electrones cambia constantemente. Los alternadores producen corriente alterna, que es el tipo de corriente que utiliza la instalación eléctrica de nuestras casas.

Veamos cuáles son los componentes básicos de un circuito:

- **Generador:** dispositivo capaz de transformar alguna forma de energía en energía eléctrica.
- **Receptor:** dispositivo capaz de transformar la energía eléctrica en otras formas de energía.
- **Interruptor:** mecanismo que abre o cierra el circuito, de modo que impide o permite el paso de corriente eléctrica.
- **Conductores:** hilos metálicos que unen los diversos elementos del circuito y permiten la circulación de la corriente.

En el circuito, la corriente que produce el generador se conduce hasta la bombilla, donde se utiliza para generar luz, y posteriormente, vuelve al generador.

Habitualmente, los circuitos eléctricos se representan mediante esquemas en los que cada componente está indicado por su símbolo tal como muestra la siguiente tabla:

Componente	Símbolo eléctrico
Generador de corriente continua	
Generador de corriente alterna	
Receptor	
Interruptor	Abierto
	Cerrado
Conductores	

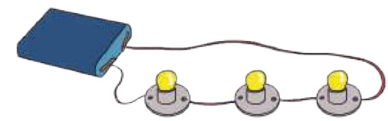
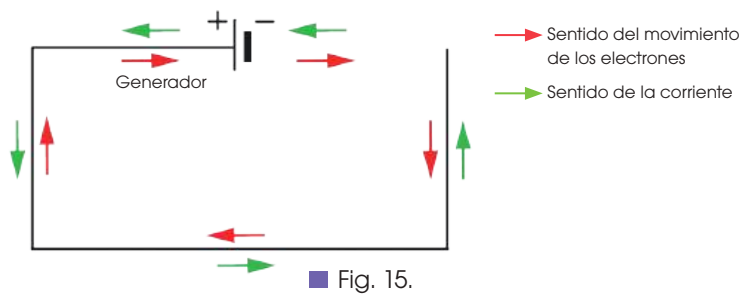
■ Tabla 4.

## 5.1 Sentido de la corriente en un circuito

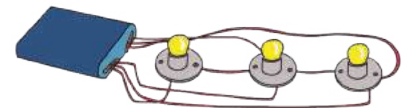
Como sabes, en el interior de un conductor metálico las únicas cargas que tienen libertad de movimiento son los electrones. Por tanto, la corriente consiste realmente en un desplazamiento de cargas negativas.

Sin embargo, por convenio, a la corriente eléctrica se le asigna un sentido opuesto al sentido del movimiento de los electrones.

- **Sentido del movimiento de los electrones:** Los electrones circulan desde el polo negativo del generador al polo positivo, a través de los conductores, y desde el polo positivo al polo negativo por el interior del generador.
- **Sentido de la corriente eléctrica.** Se asignó antes de saber que la corriente consistía en un desplazamiento de cargas negativas, y coincide con el que tendrían las cargas si fueran positivas. Dichas cargas circularían desde el polo positivo del generador al polo negativo a través de los conductores, y desde el polo negativo al polo positivo por el interior del generador.



■ Fig. 16.  
■ Circuito en serie.



■ Fig. 17.  
■ Circuito en paralelo.

## 5.2 Conexión de receptores en un circuito

En un circuito eléctrico también pueden conectarse varios receptores a la vez. Esto ocurre, por ejemplo, con las bombillas instaladas en un árbol de Navidad o en un anuncio luminoso.

Los receptores se pueden conectar a un circuito de dos maneras básicas:

- **Conexión en serie:** La corriente pasa por todos y cada uno de los receptores. Si se funde un receptor, interrumpe el paso de la corriente y todos dejan de funcionar.
- **Conexión en paralelo:** La corriente se reparte entre todos los receptores. Por cada receptor solo pasa parte de la corriente. Si se funde un receptor, los demás continúan funcionando de manera normal.

28. **Di** cuáles son los componentes de un circuito eléctrico elemental y explica la función que desempeña cada uno de ellos.
29. **Representa** en forma de esquema un circuito que esté formado por una pila, un interruptor, una bombilla y los conductores necesarios. **Pon** nombres a los distintos componentes del circuito.
30. ¿Por qué el sentido asignado a la corriente eléctrica no coincide con el del movimiento de los electrones?

31. **Dibuja** el esquema de un circuito eléctrico en el que estén representados:
  - a. Una pila y dos bombillas conectadas en paralelo.
  - b. Una pila y cuatro bombillas conectadas en serie.
32. La instalación eléctrica de nuestras casas forma un circuito de corriente alterna. Las bombillas, el refrigerador, el televisor, etc. Son elementos intercalados en el circuito. **Investiga** cómo están conectados los distintos elementos en la instalación eléctrica de tu hogar. Razona por qué se instalan de esta forma.

## 6. MAGNITUDES ELÉCTRICAS

### Y TAMBIÉN:

El amperio es una unidad muy grande para las intensidades de corriente habituales. Por ello, suelen utilizarse submúltiplos, como el **miliamperio** ( $\mu\text{A}$ ) y el **microamperio** ( $\mu\text{A}$ ).

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

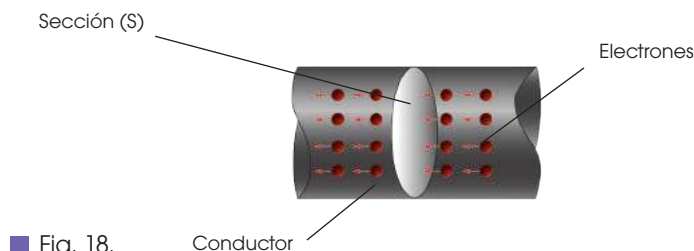
$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

Probablemente hayas observado que la mayoría de los aparatos eléctricos llevan inscripciones que nos dan información sobre las magnitudes eléctricas características del aparato y nos permiten conocer si el aparato se puede conectar a una determinada instalación eléctrica y si las características de la corriente eléctrica son las adecuadas para el correcto funcionamiento de este.

Estas magnitudes eléctricas características que podemos medir en un circuito son la intensidad de corriente, y la diferencia de potencial. Otra magnitud, propia de todos los aparatos que conectamos en el circuito, es su resistencia eléctrica.

### 6.1 Intensidad de corriente eléctrica

Habrás observado que la bombilla de una linterna luce con mayor brillo cuando la pila es nueva que cuando está muy gastada. Esto es debido a que, en el último caso, por la bombilla pasa menos corriente o, lo que es lo mismo, la corriente tiene menos intensidad. Imagínate un conductor por el que circula una corriente eléctrica. Supón ahora una sección  $S$  del conductor, atravesada perpendicularmente por los electrones que forman esta corriente eléctrica.



■ Fig. 18.

Si contamos la carga que cruza esta sección en un tiempo determinado, tendremos una medida de la intensidad de la corriente. Así podemos decir que:

La **intensidad de corriente eléctrica** es la cantidad de carga que atraviesa una sección del conductor en la unidad de tiempo.

Para hallar la intensidad de corriente ( $I$ ) dividimos la carga ( $Q$ ) que atraviesa una sección del conductor entre el tiempo ( $t$ ) que ha tardado en atravesarla.

$$I = \frac{Q}{t} \quad \begin{array}{l} I = \text{intensidad de corriente} \\ Q = \text{carga eléctrica} \\ t = \text{tiempo} \end{array}$$

La unidad de intensidad de corriente en el Sistema Internacional es el amperio. Se le da este nombre en honor del físico francés **André M. Ampère** (1775-1836) y se representa con la letra  $A$ .

Un **amperio** es la intensidad de corriente que circula por un conductor cuando por él pasa una carga de un culombio cada segundo.

$$1 \text{ amperio (A)} = \frac{1 \text{ culombio (C)}}{1 \text{ segundo (s)}} \quad 1 \text{ (A)} = \frac{1 \text{ (C)}}{1 \text{ (s)}}$$

## Medida de la intensidad de corriente

La intensidad de corriente que circula por un circuito puede medirse directamente.

Para ello, se emplea el instrumento denominado **amperímetro**.

El amperímetro se debe instalar de tal modo que toda la corriente pase por él. Es decir, se conecta en **serie** con los elementos del circuito.

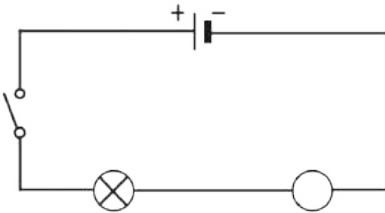


Fig. 19.

Conexión del amperímetro a un circuito.

### Ejemplo 7

Calcula la intensidad de una corriente sabiendo que por una sección del conductor ha circulado una carga eléctrica de 75 mC en 5 s.

– Datos:  $Q = 75 \text{ mC} = 0,075 \text{ C}$      $t = 5 \text{ s}$

– Cálculo de la intensidad:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0,075 \text{ C}}{5 \text{ s}} = 0,015 \text{ A}$$

La intensidad de corriente que circula por el circuito es de 0,015 A, es decir, 15 mA.

### Ejemplo 8

En un circuito eléctrico circula una corriente cuya intensidad es de 1,5 mA. Calcula la cantidad de carga que circula por el circuito en 1 h.

– Datos:  $I = 1,5 \text{ mA} = 0,0015 \text{ A}$      $t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$

– Cálculo de la carga:

$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t = 0,0015 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} = 5,4 \text{ C}$$

La carga que ha circulado por el circuito es de 5,4 C.

### Y TAMBIÉN:

- Los amperímetros de gran sensibilidad miden la intensidad de corriente en miliamperios.



Amperímetro digital.

- El símbolo eléctrico del amperímetro en el esquema de un circuito es:



### Actividades

33. **Explica** cómo puedes medir la intensidad de una corriente eléctrica.
34. **Dibuja** el esquema de un circuito eléctrico en el que estén representados una pila, una lámpara, un interruptor y un amperímetro.
35. Razona cómo varía la carga eléctrica que circula por un circuito si:
  - a. Duplicamos la intensidad de corriente.
  - b. Triplicamos el tiempo de funcionamiento.
36. Por un hilo conductor circula una carga eléctrica de 84 C en un tiempo de 5 min.
  - **Calcula** la intensidad de la corriente.
37. En un circuito la intensidad de corriente es de 0,25 A.
  - **Determina** la carga que ha circulado por el circuito en 3 min.

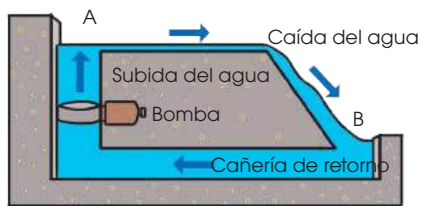


Fig. 20.

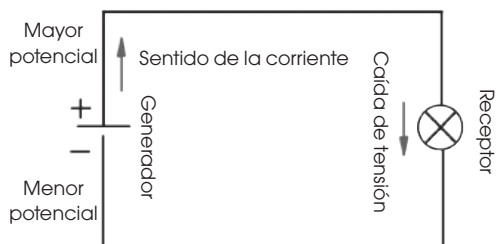


Fig. 21.

### Y TAMBIÉN:



- El **trabajo** es una forma de transmisión de energía entre los cuerpos. Un cuerpo realiza un trabajo sobre otro si ejerce una fuerza sobre este y lo desplaza.
- Llamamos **fuerza electromotriz** a la energía que el generador comunica a cada unidad de carga que lo atraviesa.

## 6.2. Diferencia de potencial

La corriente eléctrica parte del generador y recorre el circuito cediendo su energía a los diversos componentes de este. Al retornar al generador, la corriente ha perdido su energía inicial, por lo que es preciso restaurarla. El proceso es parecido al que tiene lugar cuando el agua cae desde un lugar elevado.

Si comparamos un circuito hidráulico con un circuito eléctrico, veremos que tienen muchos elementos semejantes:

- **Circuito hidráulico**
  - El agua circula de un punto a otro cuando entre ellos existe una **diferencia de nivel**.
  - El agua cae desde el punto más alto (A), donde tiene mayor **energía potencial gravitatoria**, hasta el punto más bajo (B), donde esta es menor.
  - La **bomba** realiza un **trabajo** para llevar el agua desde los puntos más bajos hasta los más altos, devolviendo a esta la energía potencial gravitatoria perdida en la caída.
- **Circuito eléctrico**
  - La corriente circula de un punto a otro cuando entre ellos existe una **diferencia de potencial**.
  - La corriente fluye por el circuito desde el polo positivo del generador, donde tiene mayor **energía potencial eléctrica**, hasta el polo negativo, donde esta es menor.
  - El **generador** realiza un **trabajo** para llevar la corriente eléctrica por su interior desde el polo negativo hasta el positivo, devolviendo a esta la energía potencial eléctrica perdida.

Siempre que se realiza un trabajo para desplazar una carga eléctrica desde un punto a otro de un conductor, decimos que entre ellos existe una diferencia de potencial, también llamada tensión o voltaje.

La **diferencia de potencial** entre dos puntos de un circuito es el **trabajo** necesario para transportar la **unidad de carga** desde un punto al otro.

$$V = \frac{W}{Q} \Rightarrow W = Q \cdot V$$

V = diferencia de potencial  
 W = trabajo eléctrico  
 Q = carga eléctrica

La misión del generador consiste en mantener una diferencia de potencial entre sus dos polos o terminales. Esto lo consigue gracias a su **fuerza electromotriz**; es decir, gracias a su capacidad de comunicar energía eléctrica a las cargas.

La unidad en el Sistema Internacional, tanto de la diferencia de potencial como de la fuerza electromotriz, es el **voltio**. Se le da este nombre en honor del físico italiano **Alejandro Volta** (1745-1827) y se representa con la letra **V**.

Entre dos puntos de un circuito existe la diferencia de potencial de un voltio si para transportar de uno a otro la carga de un culombio hay que realizar el trabajo de un julio.

$$1 \text{ voltio} = \frac{1 \text{ julio}}{1 \text{ culombio}} \quad 1 \text{ (V)} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$$

## Medida de la diferencia de potencial

La diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito también puede medirse directamente. Para ello, utilizamos un instrumento llamado **voltímetro**.

El voltímetro debe instalarse de modo que sus terminales estén en contacto con los dos puntos entre los cuales queremos medir la diferencia de potencial. Es decir, se conecta en **paralelo** con los elementos del circuito.

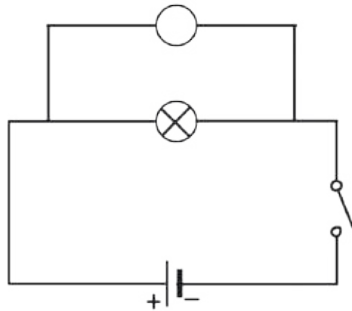
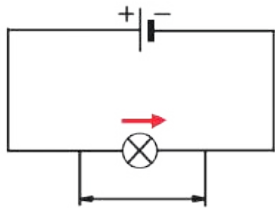


Fig. 22.

■ Conexión del voltímetro en un circuito.

### Ejemplo 9

El circuito eléctrico de la figura representa una bombilla conectada a una pila. Si la diferencia de potencial entre los extremos de la bombilla es de 1,2 V y la intensidad de corriente es de 0,75 A, calcula el trabajo realizado por la pila en 1 h de funcionamiento.



— Datos:  $t = 1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s}$   
 $V = 1,2 \text{ V}$   
 $I = 0,75 \text{ A}$

— Calculamos la carga eléctrica que circula por el circuito en 1 h.

$$Q = I \cdot t = 0,75 \text{ A} \cdot 3\,600 \text{ s} = 2\,700 \text{ C}$$

— El trabajo realizado por la pila es igual a la carga eléctrica que pone en circulación multiplicada por la diferencia de potencial que suministra.

$$W = Q \cdot V = 2\,700 \text{ C} \cdot 1,2 \text{ V} = 3\,240 \text{ J}$$

El trabajo realizado por la pila es de 3 240 J.

## Y TAMBIÉN:

- Los voltímetros digitales dan una valoración numérica de la tensión, normalmente en una pantalla LCD. Estos aparatos además tienen prestaciones como memoria, detección de valor de pico...



<http://goo.gl/0uIk7Q>

Voltímetro digital.

- El símbolo eléctrico del voltímetro en el esquema de un circuito es:



### Actividades

38. A continuación aparecen algunas características de los circuitos hidráulico y eléctrico. Relaciónalas.

- Circuito hidráulico: energía potencial gravitatoria, diferencia de nivel, bomba.
- Circuito eléctrico: generador, energía potencial eléctrica, diferencia de potencial.

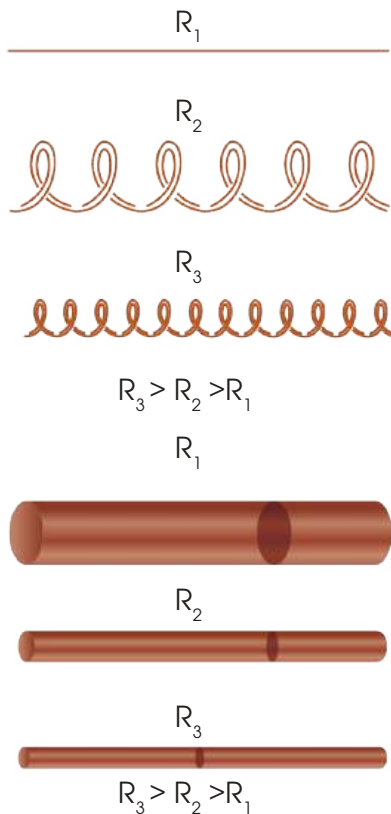
39. **Explica** cómo puedes medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico.

40. **Dibuja** el esquema de un circuito eléctrico en el que estén representados un alternador, una bombilla, un interruptor y un voltímetro.

41. En un circuito eléctrico formado por un generador conectado a una lámpara la intensidad de la corriente es de 2 A. Si la diferencia de potencial entre los extremos del generador es de 230 V, **calcula** el trabajo realizado por este en tres horas de funcionamiento.

Prohibida su reproducción





- Los conductores más largos y los de menor sección ofrecen mayor resistencia al paso de la corriente.

Fig. 23.

### Y TAMBIÉN:



Son **materiales conductores** aquellos que permiten que las cargas eléctricas se desplacen libremente por su interior.

Son **materiales aislantes** aquellos que no permiten el libre desplazamiento de las cargas eléctricas por su interior.

## 6.3. Resistencia eléctrica

Algunos materiales conducen la corriente eléctrica mejor que otros. Por ejemplo, el cobre, empleado en la fabricación de cables eléctricos, conduce la corriente con más facilidad que el wolframio, utilizado en la fabricación del filamento de las lámparas incandescentes.

En realidad, todos los materiales, incluidos los conductores eléctricos, ofrecen cierta dificultad al paso de la corriente. En algunos, como el wolframio, esta dificultad es mayor y entonces decimos que presentan una mayor resistencia eléctrica.

La **resistencia eléctrica** de un conductor es una magnitud física que indica la dificultad que ofrece al paso de la corriente eléctrica.

La unidad de resistencia eléctrica en el Sistema Internacional es el ohmio. Se le da este nombre en honor del físico alemán **Georg Simon Ohm** (1787-1854) y se representa mediante la letra griega omega ( $\Omega$ ).

Los electrones que constituyen la corriente eléctrica se desplazan por el interior del conductor chocando con los átomos que lo forman. Por eso, la resistencia eléctrica de un conductor:

- Depende del **material** que lo forma.
- Aumenta con la **longitud** del conductor.
- Disminuye con la **sección** de este.

Matemáticamente, estas relaciones se expresan así:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

R = resistencia  
 $\rho$  = resistividad del conductor  
 L = longitud del conductor  
 S = sección del conductor

La dependencia del material se refleja en un parámetro llamado resistividad.

La **resistividad** es la resistencia que ofrece al paso de la corriente un conductor de longitud y sección unidad.

### Asociación de resistencias

Además de la resistencia propia de los distintos elementos de un circuito (conductores, receptores...), con frecuencia en un circuito eléctrico interesa limitar la intensidad de corriente aumentando la dificultad de paso de la corriente eléctrica. Con este fin se instalan en el circuito **resistencias** o **resistores** que ofrecen una resistencia eléctrica determinada.

Veamos de qué forma se puede determinar la resistencia equivalente de un conjunto de resistencias:

#### • Asociación de resistencias en serie.

- La corriente debe circular por todas y cada una de las resistencias. Por tanto, la resistencia total aumenta al añadir resistencias.
- La resistencia que produciría el mismo efecto que toda la asociación, o resistencia equivalente, se calcula sumando todas las resistencias.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

### • Asociación de resistencias en paralelo.

- La corriente se reparte entre todas las resistencias. Por tanto, la resistencia total disminuye al añadir resistencias.
- La resistencia que produciría el mismo efecto que toda la asociación, o resistencia equivalente, se calcula a partir de la relación:

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

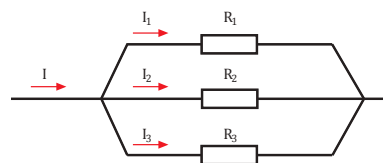


Fig. 24.

### Ejemplo 10

Disponemos de dos cables conductores de 1 500 m de longitud y 5 mm<sup>2</sup> de sección. El primero está hecho de cobre ( $\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ V} \cdot \text{m}$ ) y el segundo, de aluminio ( $\rho_2 = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ).

- ¿Cuál de ellos conduce mejor la corriente eléctrica?
- Calcula la resistencia eléctrica de cada uno de los cables.

— Datos:  $L = 1\,500 \text{ m}$      $S = 5 \text{ mm}^2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

$$\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \quad \rho_2 = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

- El cable de cobre conduce mejor la corriente eléctrica. La resistividad del cobre es menor que la del aluminio, lo que significa que ofrece menos resistencia al paso de la corriente.

— Para el conductor de cobre, obtenemos:

$$R_1 = \rho_1 \frac{L}{S} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot \frac{1\,500 \text{ m}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 5,1 \Omega$$

— Para el conductor de aluminio, obtenemos:

$$R_2 = \rho_2 \frac{L}{S} = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot \frac{1\,500 \text{ m}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 8,4 \Omega$$

La resistencia del cable de cobre es de 5,1  $\Omega$  y la del cable de aluminio de 8,4  $\Omega$ .

### Y TAMBIÉN:

La resistividad depende de la naturaleza de la sustancia y de la temperatura.

Se representa con la letra griega  $\rho$  (ro) y su unidad en el SI es el **ohmio metro** ( $\Omega \cdot \text{m}$ ).

Material	Resistividad ( $\Omega \cdot \text{m}$ ) a 20°C
Plata	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Aluminio	$2,8 \cdot 10^{-8}$
Wolframio	$5,5 \cdot 10^{-8}$
Plomo	$22 \cdot 10^{-8}$
Constantán (aleación Cu-Ni)	$50 \cdot 10^{-8}$
Nicromo (aleación Ni-Cr)	$100 \cdot 10^{-8}$

Tabla 5.

### Actividades

- La plata y el aluminio son ambos conductores eléctricos. ¿Conduce uno de ellos la electricidad mejor que el otro? ¿Por qué?
- Deduce** las unidades de la resistividad  $\rho$  a partir de la fórmula matemática de la resistencia.
- Calcula** la resistencia de los siguientes conductores:
  - Un cable de nicromo de 2,5 mm<sup>2</sup> de sección y 34 m de longitud.
  - Un cable de cobre de 5 mm<sup>2</sup> de sección y 76 m de longitud.
- Calcula** la resistividad de un elemento resistor cerámico que, a la temperatura de trabajo, presenta una resistencia eléctrica de 100  $\Omega$ , una longitud de 25 cm y una sección circular de 12 mm de diámetro.
- Deseamos sustituir cierto conductor de cobre, que presenta una sección de  $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ , por otro conductor de cobre de menor resistencia. ¿Qué sección debe tener el nuevo hilo para que la resistencia se reduzca a la cuarta parte?
- Calcula** la resistencia equivalente de una asociación de dos resistencias en serie cuyos valores son 45  $\Omega$  y 25  $\Omega$ .
  - Vuelve a efectuar los cálculos para el caso en que las resistencias estuvieran conectadas en paralelo.

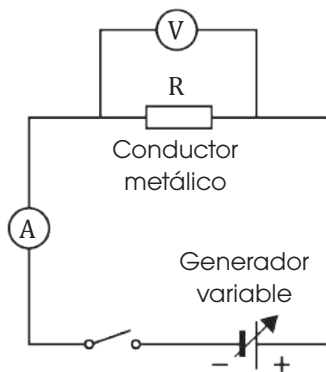
## 6.4. Ley de Ohm

Ya conocemos las tres magnitudes físicas características de un circuito eléctrico: la **intensidad de corriente** que circula por el circuito, la **diferencia de potencial** que establece el generador y la **resistencia** que oponen los componentes del circuito al paso de la corriente. Ahora, nos podemos preguntar: ¿existe alguna relación entre estas tres magnitudes?

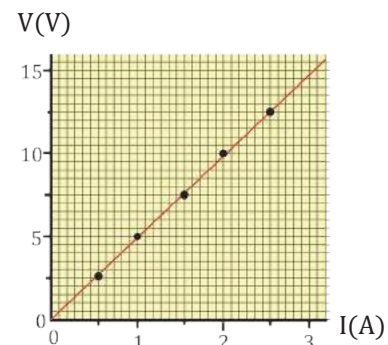
Fíjate en el siguiente ejemplo:

### Ejemplo 11

Medimos la intensidad de corriente,  $I$ , que circula por un conductor metálico al aplicar diferentes valores de la diferencia de potencial,  $V$ , entre sus extremos.



V (V)	I (A)	V/I ( $\Omega$ )
2,5	0,5	5
5	1	5
7,5	1,5	5
10	2	5
12,5	2,5	5
15	3	5



Los resultados permiten comprobar que el cociente entre ambas magnitudes se mantiene constante para un mismo conductor.

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_3}{I_3} \dots = \text{constante}$$

### Y TAMBIÉN:

La ley de Ohm también se puede expresar de la forma:

$$V = R \cdot I$$

La **diferencia de potencial** aplicada a los extremos de un conductor es **proporcional** a la **intensidad de corriente** que circula por él, siendo la constante de proporcionalidad igual a la **resistencia eléctrica** del conductor.

La generalización de estos resultados constituye la **ley de Ohm**.

El **cociente** entre la **diferencia de potencial** aplicada a los extremos de un conductor y la **intensidad de corriente** que circula por él es una **constante** que coincide con la **resistencia eléctrica** del conductor.

$$R = \frac{V}{I}$$

R = resistencia eléctrica  
V = diferencia de potencial  
I = intensidad

La ley de Ohm permite definir la unidad de resistencia eléctrica, el ohmio ( $\Omega$ ).

Un **ohmio** es la resistencia de un conductor por el que circula la corriente de un amperio cuando entre sus extremos hay una diferencia de potencial de un voltio.

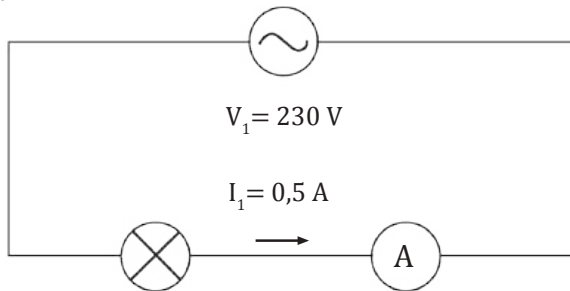
$$1 \text{ ohmio} = \frac{1 \text{ voltio}}{1 \text{ amperio}}$$

$$1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

Un circuito está formado por tres elementos conectados en serie: un generador de 230 V, una lámpara y un amperímetro. Si el amperímetro mide una intensidad de 0,5 A en el circuito, calcula:

- La resistencia eléctrica de la lámpara.
- La intensidad de corriente que circularía por el circuito si el generador suministrara una tensión de 360 V.

— Datos:



- a. Aplicamos la ley de Ohm para hallar la resistencia.

$$R = \frac{V_1}{I_1} = \frac{230 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 460 \Omega$$

- b. Aplicamos de nuevo la ley de Ohm para determinar la intensidad de corriente.

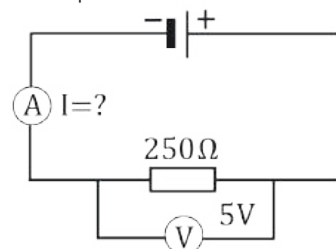
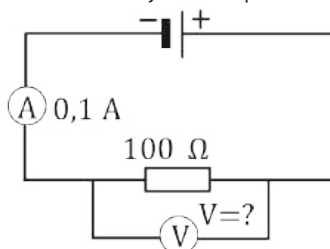
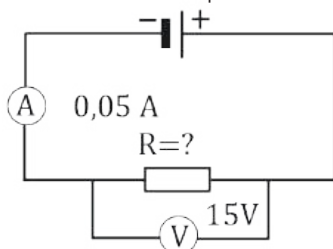
$$I_2 = \frac{V_2}{R} = \frac{360 \text{ V}}{460 \Omega} = 0,78 \text{ A}$$

Al aplicar una tensión de 360 V, circulará por el circuito una intensidad de corriente de 0,78 A.

## Y TAMBIÉN:

- No toques nunca con las manos húmedas aparatos conectados a la red, como lámparas, televisores, lavadoras, etc. Pues de ese modo facilitas el paso de la corriente por tu cuerpo.
- Nunca debes manipular las instalaciones ni los aparatos eléctricos sin tener un buen conocimiento de ellos y de lo que vas a hacer.
- Utiliza siempre herramientas con mango aislante.
- Antes de manipular un aparato, asegúrate de que está desconectado de la red de alimentación.
- Si necesitas manipular la instalación eléctrica (para colocar un enchufe, por ejemplo), debes desconectar la corriente desde el interruptor general de la casa.
- En el laboratorio no debes poner en funcionamiento un circuito eléctrico sin que el profesor haya revisado la instalación.

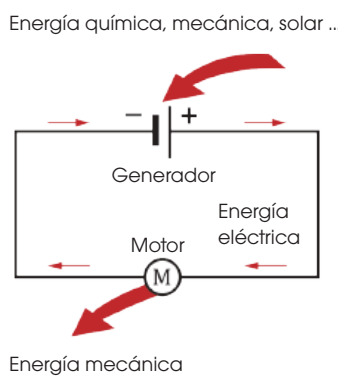
- ¿Cómo varía la intensidad de corriente si se duplica la diferencia de potencial aplicada a un circuito eléctrico? ¿Y si la diferencia de potencial se mantiene constante y se duplica la resistencia?
- Observa** la gráfica de la diferencia de potencial-intensidad de la página anterior. ¿Qué forma adopta? ¿Qué se puede deducir de ello?
- Por un conductor conectado a una diferencia de potencial de 1,2 V circula una intensidad de corriente de 2,4 A. **Calcula** la resistencia eléctrica del conductor.
- Una bombilla tiene una resistencia eléctrica de 885  $\Omega$ . **Determina** la tensión a la que está conectada cuando circula por ella una intensidad de corriente de 260 mA.
- Un hilo de nicromo ( $\rho = 1 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ) tiene una sección de 1,8 mm<sup>2</sup> y una longitud de 216 m. **Determina** la intensidad de corriente que circula por él cuando se aplica a sus extremos una tensión de 230 V.
- Calcula** los valores que faltan en los circuitos dibujados a partir de los datos que se indican.



# 7. TRANSFORMACIONES DE ENERGÍA EN UN CIRCUITO

El hecho de que las cargas eléctricas se desplacen por el circuito significa que estas poseen cierta energía, a la que denominamos energía eléctrica. A lo largo del circuito, esta energía experimenta ciertas transformaciones como podemos ver en el siguiente ejemplo.

## Ejemplo 13



- El **generador** transforma alguna forma de energía (química, mecánica, solar...) en **energía eléctrica**. Esta energía se emplea para producir un trabajo: transportar las cargas eléctricas.  
La **energía suministrada** a las cargas es igual a la carga que transporta de un polo a otro multiplicada por la diferencia de potencial que existe entre estos.

$$E = Q \cdot V$$

$E$  = energía suministrada por el generador  
 $Q$  = carga eléctrica transportada  
 $V$  = diferencia de potencial entre los polos del generador

- El **motor** transforma la energía eléctrica en **energía mecánica**. Esto le permite realizar algún **trabajo mecánico**.  
La **energía que consume** un receptor es igual a la carga que circula a través de él por la diferencia de potencial entre sus extremos.

$$E = Q \cdot V$$

$E$  = energía suministrada por el receptor  
 $Q$  = carga eléctrica transportada  
 $V$  = diferencia de potencial entre los polos del receptor

**Y TAMBIÉN:**

Si bien el efecto Joule se produce en todos los aparatos eléctricos, algunos están especialmente diseñados para transformar la energía eléctrica en calor. Estos aparatos, como estufas, hornillos, planchas, calentadores, etc. van provistos de una resistencia eléctrica en la cual, al paso de la corriente, la energía eléctrica se transforma en calor.

En ambos casos, si tenemos en cuenta que la carga eléctrica es igual a la intensidad de corriente multiplicada por el tiempo ( $Q = I \cdot t$ ), esta energía se puede expresar:

$$E = V \cdot I \cdot t$$

$E$  = energía  
 $V$  = diferencia de potencial  
 $I$  = intensidad de corriente  
 $t$  = tiempo

Esta expresión es válida tanto para la energía suministrada por el generador como para la energía consumida por un receptor. En cada caso, deberemos sustituir  $V$  por la diferencia de potencial entre los extremos del dispositivo correspondiente.

### 7.1. El efecto Joule

Seguramente habrás observado que todos los aparatos eléctricos, después de funcionar algún tiempo, se calientan. Esto significa que tienen pérdidas de energía en forma de calor debido a que, en su movimiento, los electrones chocan con los átomos del conductor, aumentando la agitación térmica de estos últimos a costa de su propia energía.

Este fenómeno recibe el nombre de efecto Joule en honor del físico inglés James P. Joule, quien describió las transformaciones de trabajo en calor.

El **efecto Joule** es el fenómeno por el cual una parte de la energía eléctrica se transforma en calor cuando la corriente eléctrica atraviesa un conductor.

Para calcular el valor de la energía disipada en forma de calor, sustituimos la relación dada por la ley de Ohm ( $V = R \cdot I$ ) en la expresión de la energía consumida por un receptor:

$$E = R \cdot I^2 \cdot t$$

$E$  = energía disipada en forma de calor  
 $R$  = resistencia eléctrica del conductor  
 $I$  = intensidad de corriente  
 $t$  = tiempo

## 7.2. Potencia eléctrica

Un receptor eléctrico, como el motor de un ventilador, es capaz de realizar un trabajo gracias a la energía eléctrica que proporciona el generador. Ahora bien, para que un receptor o un generador sean eficaces, deben realizar el trabajo con rapidez.

La magnitud que relaciona el trabajo eléctrico realizado con el tiempo empleado es la potencia eléctrica.

Llamamos **potencia eléctrica** a la energía suministrada por un generador eléctrico o consumida por un receptor eléctrico en la unidad de tiempo.

$$P = \frac{E}{t}$$

P = potencia eléctrica  
E = energía  
t = tiempo

La unidad de potencia en el Sistema Internacional es el vatio, y se representa con la letra **W**.

Un **vatio** es la potencia de un generador o un receptor eléctrico que suministra o consume un julio cada segundo.

$$1 \text{ vatio} = \frac{1 \text{ julio}}{1 \text{ segundo}} \quad 1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$

Podemos calcular la potencia consumida en un receptor eléctrico a partir de la **intensidad (I)** que circula por él y de la **resistencia (R)** del receptor.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{R \cdot I^2 \cdot t}{t} \quad P = R \cdot I^2$$

P = potencia eléctrica  
R = resistencia eléctrica  
I = intensidad

Esta expresión se conoce con el nombre de **ley de Joule**.

### Ejemplo 14

Una batidora tiene una resistencia de  $80 \Omega$  y por ella circula una intensidad de corriente de  $1,75 \text{ A}$ . Calcula:  
a. La potencia consumida; b. La energía consumida en  $1 \text{ h}$  de funcionamiento, expresada en kilovatios-hora y en julios; c. El coste de la energía consumida si el precio del kilovatio-hora es de  $14,00$  céntimos.

— Datos:  $R = 80 \Omega$      $I = 1,75 \text{ A}$      $t = 1 \text{ h}$

— Hallamos la potencia consumida.

$$P = R \cdot I^2 = 80 \Omega \cdot (1,75 \text{ A})^2 = 245 \text{ W}$$

— Calculamos la energía consumida en  $1 \text{ h}$ .

$$E = P \cdot t = 245 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \cdot 1 \text{ h} = 0,245 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

— Pasamos el resultado a julios.

$$0,245 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \frac{3,6 \cdot 10^6 \text{ J}}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} \cdot 1 \text{ h} = 8,82 \cdot 10^5 \text{ J}$$

— Calculamos el coste de la energía consumida.

$$0,245 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \frac{14 \text{ cts.}}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} = 3,43 \text{ cts.}$$

### Y TAMBIÉN:

#### El kilovatio-hora

Es una unidad de energía muy utilizada.

Se define como la energía consumida por un aparato de un kilovatio de potencia en una hora de funcionamiento.

Su relación con el julio es la siguiente:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kW} \cdot \text{h} &= 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = \\ &= 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = \\ &= 3,6 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{s} \\ 1 \text{ kW} \cdot \text{h} &= 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

54. **Explica** qué función realiza un motor en un circuito eléctrico.

55. **Explica** en qué consiste el efecto Joule.

— **Di** en qué casos este efecto es positivo y en qué casos es negativo.

56. Un horno microondas de  $750 \text{ W}$  está conectado a  $230 \text{ V}$ . **Calcula**: a. La intensidad de corriente; b. La energía consumida en una hora; c. El coste de la energía consumida si el precio del kilovatio-hora es de  $14,22$  céntimos.

# 8. PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

La energía eléctrica comenzó a utilizarse a gran escala a finales del siglo XIX. Su uso ha ido en aumento de tal modo que, hoy en día, prácticamente alcanza a todas nuestras actividades y nos resulta imprescindible en el día a día. En nuestra propia casa hay varios aparatos que funcionan gracias a la electricidad. Veamos cómo se produce y se transporta la corriente eléctrica.

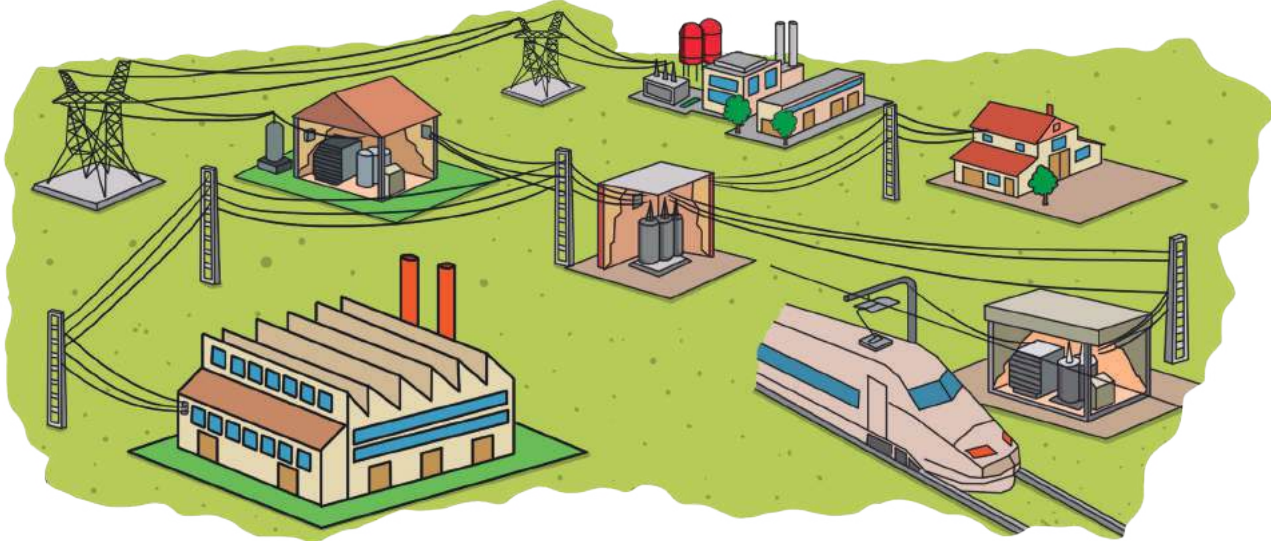
- Producción de electricidad.** La electricidad se produce en las centrales eléctricas donde, a partir de la transformación de alguna forma de energía, se obtiene energía eléctrica a gran escala para su distribución y consumo. En este proceso de transformación intervienen las **turbinas**, que son máquinas que transforman el movimiento de un fluido, agua o gas, en movimiento giratorio que se transmite al generador, como veremos en los diferentes tipos de centrales eléctricas:

 <p><a href="http://goo.gl/ixG6S7">http://goo.gl/ixG6S7</a></p>	 <p><a href="http://goo.gl/LgylW">http://goo.gl/LgylW</a></p>	 <p><a href="http://goo.gl/UZ850B">http://goo.gl/UZ850B</a></p>
<p><b>Hidroeléctricas.</b> Las turbinas son movidas por el agua que cae por un desnivel. La energía primaria es energía mecánica (<b>energía potencial gravitatoria</b> del agua). Su rendimiento energético es alto y no producen residuos tóxicos.</p>	<p><b>Térmicas.</b> Las turbinas son movidas por vapor. El calor necesario para obtener vapor procede de combustibles fósiles: carbón, petróleo o gas natural (<b>energía química</b>). Su rendimiento energético es bajo. Además, producen residuos tóxicos que son liberados a la atmósfera.</p>	<p><b>Nucleares.</b> Las turbinas son movidas por vapor. El calor necesario para obtener vapor se obtiene de la fisión nuclear en un reactor (energía nuclear). Su rendimiento energético es alto, pero generan residuos radiactivos difíciles de eliminar o almacenar.</p>
 <p><a href="http://goo.gl/UQfCwt">http://goo.gl/UQfCwt</a></p>	 <p><a href="http://goo.gl/uAg4fz">http://goo.gl/uAg4fz</a></p>	 <p><a href="http://goo.gl/QLSQPh">http://goo.gl/QLSQPh</a></p>
<p><b>Eólicas.</b> El rotor es accionado por las aspas de molinos que mueve el viento y transmite el movimiento al generador. La energía primaria es energía mecánica (<b>energía cinética</b> de traslación del viento). No contaminan el medio ambiente, aunque su rendimiento energético es bajo.</p>	<p><b>Solares.</b> La energía eléctrica se obtiene sin necesidad de turbinas mediante células fotovoltaicas que generan electricidad al ser iluminadas por Sol. La energía primaria es la energía de la radiación solar. No contaminan el medio ambiente, aunque su rendimiento energético es bajo.</p>	<p><b>Geotérmicas.</b> Las turbinas se mueven con el vapor generado por el calentamiento de una caldera con calor procedente del interior de la Tierra (generalmente agua caliente). La energía primaria es <b>geotérmica</b>. No contaminan el medio ambiente, aunque su rendimiento energético es bajo.</p>

■ Tabla 6.

- **Transporte de la corriente eléctrica:** La corriente eléctrica que utilizamos en nuestras casas es corriente alterna que procede de las centrales eléctricas.

Se emplea corriente alterna, puesto que permite el uso de transformadores para elevar o disminuir la tensión. Así, para transportarla desde la central hasta nuestros hogares se eleva la tensión para reducir las pérdidas energéticas por efecto Joule:



■ Fig. 25.

- A la salida de la central hay un **transformador** que **eleva la tensión** de la corriente eléctrica. A partir de este momento, la corriente es transportada por las **líneas de alta tensión**.
- Próximas a las zonas de consumo se sitúan las **subestaciones de transformación**, donde se **baja la tensión** mediante transformadores. A partir de aquí, la corriente eléctrica continúa su recorrido por las **líneas de media tensión**.
- Una vez que llega a los lugares de consumo, se vuelve a bajar la tensión a su valor final mediante un transformador. La tensión que utilizamos comúnmente en nuestro país es de 230 V. A continuación, la corriente se transporta por las **líneas de baja tensión** a las viviendas y las industrias.
- A la entrada de las viviendas y las industrias se sitúa la **acometida**. Esta parte de la instalación recoge la corriente eléctrica de la red de distribución pública y la conduce a la **caja general de protección**. Dicha caja es un dispositivo de seguridad que interrumpe la corriente en caso de que esta alcance intensidades elevadas.

57. **Busca** información sobre una central eléctrica cercana a tu localidad. **Elabora** un informe en el que expliques de qué tipo es, sus características, su funcionamiento, cómo afecta al entorno desde el punto de vista ambiental y social. **Investiga** cuál es su aportación al total de energía producida en Ecuador, cuál es su antigüedad y en qué estado se encuentran sus instalaciones.

58. ¿Qué función cumple un transformador en un circuito? ¿En qué lugares de la red de distribución eléctrica se sitúan?

59. ¿Qué ventaja presenta el transporte de la corriente eléctrica a alta tensión frente a las líneas de media y baja tensión? Razona tu respuesta a partir del efecto Joule.



## 9. LA ELECTRICIDAD EN CASA

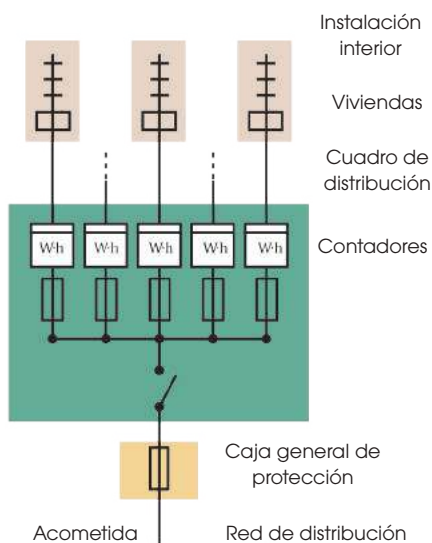


Fig. 26.

- Esquema para varios usuarios con contadores centralizados.

Desde la caja general de protección arranca la instalación eléctrica de los clientes, ya sea una vivienda individual o un edificio de viviendas y locales.

Esta caja consta de una serie de elementos que conducen la corriente hasta los aparatos eléctricos: el contador, el cuadro de distribución y la instalación interior de la vivienda (en la que distinguimos los conductores y los puntos terminales).

- El **contador**: Este aparato puede estar situado dentro o fuera de la vivienda y registra la cantidad de energía eléctrica que se consume en ella. La factura de la electricidad se calcula en función del valor registrado por el contador.
- El **cuadro de distribución**: Se sitúa a la entrada de la vivienda, pero siempre dentro de ella. Sirve para controlar y proteger la instalación interior, desconectando automáticamente el suministro de corriente cuando se produce una sobrecarga, un cortocircuito o una fuga.

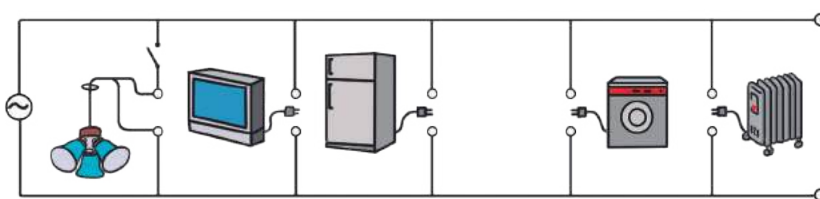
- Los **conductores**: En las instalaciones eléctricas de las viviendas los elementos conductores pueden ser cables de tres tipos.

Los cables de **fase** y **neutro** representan, respectivamente, el circuito de ida y el de vuelta de los electrones.

El **cable de toma de tierra** es un cable de protección para evitar que el usuario sufra descargas eléctricas si se produce un fallo de funcionamiento en algún aparato eléctrico. Se conecta a la estructura metálica de los aparatos eléctricos y conduce la corriente que pueda llegar a ella hasta un dispositivo clavado en el suelo, en la base del edificio.

- Los **puntos terminales**: La instalación eléctrica del interior de una vivienda acaba en **puntos de luz**, para la conexión de lámparas, o en **tomas de corriente** (enchufes), para aparatos eléctricos.

Todos los aparatos eléctricos se conectan al circuito en paralelo. Así, cada uno de ellos puede funcionar independientemente de los demás y su desconexión no interrumpe la corriente.

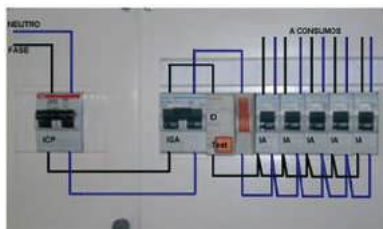


Conexión de aparatos eléctricos a la red en paralelo.

Fig. 27.



Contador.



Cuadro de distribución.



Conductores.

60. **Analiza** la instalación eléctrica de tu casa. **Describe** el cuadro de distribución e indica el número de circuitos que tiene conectados. **Dibuja** el plano de una habitación concreta y sitúa los elementos eléctricos que contiene.

61. En una vivienda se han conectado a la red simultáneamente un ventilador, por el que circula una intensidad de 2,50 A, un ordenador, por el que circulan 3,85 A, y una lámpara, por la que pasan 1,25 A. ¿Cuál es la intensidad de corriente total en la vivienda en este momento? ¿Se podría seguir conectando aparatos sin límite? ¿Por qué?

Actividades

# 10. MAGNETISMO

Nuestros antepasados griegos, hace más de 2 000 años, descubrieron un mineral, llamado magnetita, que ejerce fuerzas atractivas sobre los objetos de hierro. Los materiales como la magnetita se dice que tienen **propiedades magnéticas** o que tienen **magnetismo**, y son los llamados **imanes**.

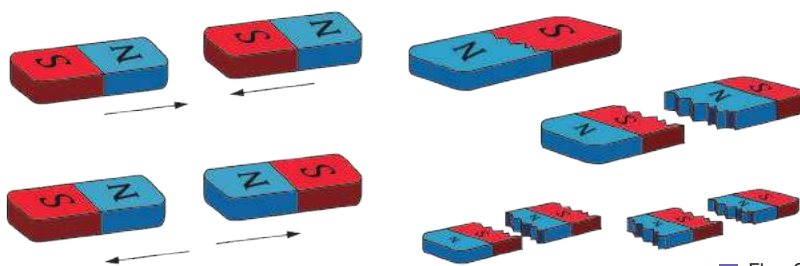
El **magnetismo** es la propiedad que tienen algunos materiales (**imanes**) y las cargas eléctricas en movimiento de atraer a las llamadas sustancias magnéticas, que son las que presentan alto contenido en hierro, níquel, cobalto y otros elementos más raros.

Existen dos tipos de imanes, según su procedencia:

- **Imanes naturales:** Son todos aquellos materiales que presentan magnetismo de forma natural, como la magnetita.
- **Imanes artificiales:** Son los que poseen magnetismo porque han sido magnetizados mediante un proceso de imantación, que se puede realizar por frotamiento, por contacto o mediante una corriente eléctrica.

Los imanes tienen unas **propiedades** comunes a todos ellos:

- Atraen al hierro y otros metales como el cobalto, el níquel y sus aleaciones.
- Tienen dos polos: norte (N) y sur (S).
- Cuando se aproximan dos imanes, los polos del mismo nombre se repelen y los de distinto nombre se atraen.
- Los polos N y S de un imán no se pueden separar en ningún caso. Cuando un imán se rompe, cada trozo se convierte en un nuevo imán con sus respectivos polos N y S.



■ Fig. 28.

- Fuerzas entre imanes.
- No es posible separar los polos.

La Tierra se comporta como un gran imán cuyos polos norte y sur magnéticos están próximos a los polos norte y sur geográficos, pero no coinciden con ellos. El ángulo que forma la dirección del norte geográfico con la dirección del norte magnético se denomina ángulo de declinación magnética y es de unos  $11^\circ$ .

Este comportamiento de la Tierra es la base del funcionamiento de las brújulas. Una brújula es una aguja imantada que puede girar libremente y que se orienta siguiendo las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, dirección norte-sur, lo que permite poder orientarse en cualquier sitio, aunque no se disponga de un GPS o de otro sistema de orientación.

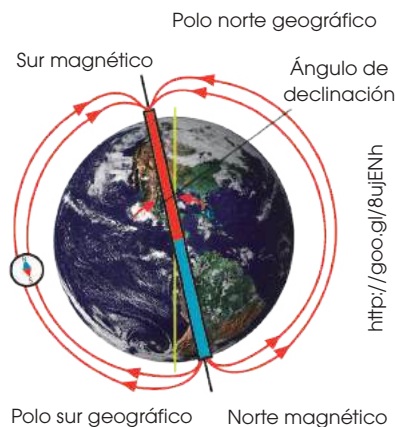
Si se aproxima un imán a la brújula, esta pierde su orientación y se orienta según el campo magnético del imán.



- La magnetita es un imán natural.

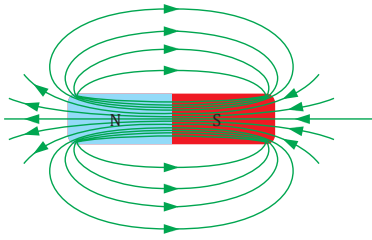
## Y TAMBIÉN:

El polo norte de un imán que pueda girar libremente señala el norte geográfico, y el polo sur del imán se orienta hacia el sur de la Tierra.



<http://goo.gl/8ujENh>

■ Fig. 29.



■ Fig. 30.

- Polos y líneas de fuerza de un imán.

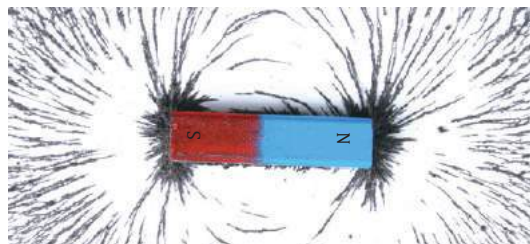
## 10.1. El campo magnético

La fuerza magnética actúa a distancia, sin necesidad de que haya un contacto directo entre los imanes y los materiales magnéticos. Esto se debe a que los imanes crean una perturbación a su alrededor llamada campo magnético.

**Campo magnético** es la perturbación que un imán crea en el espacio que lo rodea, a causa de la cual se ponen de manifiesto fuerzas magnéticas sobre otros cuerpos.

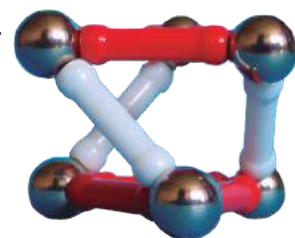
El campo magnético se representa mediante unas líneas cerradas que salen del polo norte del imán y entran por el polo sur, continuando por el interior del imán. Estas líneas se denominan **líneas de fuerza del campo magnético**. Están más juntas cerca de los polos, porque la intensidad del campo magnético es mayor en esta zona en la parte central del imán.

Si esparcimos limaduras de hierro en un papel y ponemos un imán debajo, comprobaremos que las limaduras de hierro se orientan siguiendo las líneas de fuerza del campo magnético del imán.



■ Líneas de fuerza con limaduras de hierro.

62. **Elabora** una lista de las utilidades que conozcas de los imanes en la vida cotidiana.
63. ¿Con qué materiales se fabrican los imanes? ¿Qué diferencia existe entre utilizar un material u otro?
64. ¿Por qué los polos de un imán reciben los nombres de polo norte y polo sur?
65. **Imagina** que dispones de un imán recto y de una brújula, pero el imán no tiene marcados los polos. ¿Cómo identificarás cuál es el polo norte y cuál es el polo sur del imán?
66. **Utiliza** una brújula para justificar que el norte magnético está situado en el polo sur geográfico y que el sur magnético está en el polo norte geográfico.
  - **Explica** tu forma de proceder y extrae las conclusiones oportunas.
67. ¿Qué se tendría que hacer para saber si en un punto determinado del espacio existe un campo magnético?
68. Colocamos una brújula en diferentes puntos alrededor de un imán recto.
  - **Dibuja** las líneas de campo del imán e **indica** su sentido.
  - **Determina** la orientación de cada una de las brújulas.
69. **Indica** por qué lugar de la Tierra salen las líneas de campo del campo magnético terrestre y por qué lugar regresan.
  - ¿Qué relación tiene el polo norte geográfico y el polo sur magnético?



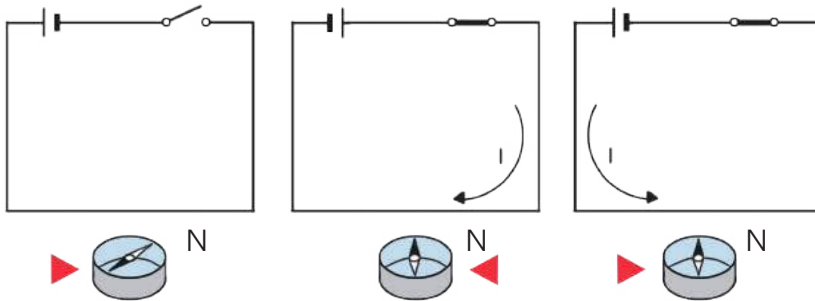
<http://goo.gl/lk02sk>

Actividades

## 10.2. Campos magnéticos ocasionados por corrientes eléctricas

En 1820, Hans Christian Oersted (1777-1851) observó que al aproximar una brújula a un circuito por el que circulaba una corriente eléctrica la aguja de la brújula se desviaba, y que volvía a la posición original cuando dejaba de circular la corriente por el circuito.

También comprobó que al cambiar el sentido de la corriente cambiaba el sentido en que se desviaba la aguja.



■ Fig. 31.

De estas experiencias, Oersted dedujo que las corrientes eléctricas también creaban un campo magnético a su alrededor, es decir, se comportaban como imanes.

De este modo, relacionó la electricidad con el magnetismo, dando lugar al inicio del llamado **electromagnetismo**.

La forma que adopta el campo magnético creado por las corrientes depende de la forma del circuito eléctrico. Un caso de particular importancia por sus aplicaciones es el del solenoide.

Un **solenoides** o **bobina** es un conductor enrollado en forma de espiral.

El solenoide crea un campo magnético similar al que crearía un imán recto cuyos polos norte y sur coincidieran con los extremos del solenoide. La intensidad del campo es proporcional al número de espiras del solenoide.

Algunas aplicaciones del descubrimiento de Oersted que hacen uso del solenoide son el electroimán y el motor eléctrico:

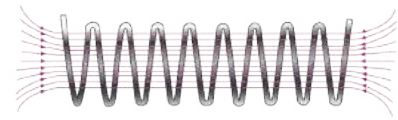
- **Electroimán:** Consiste en una bobina en la que hemos introducido un núcleo de hierro dulce y que, al hacer pasar corriente por la bobina, se comporta como un imán.

El campo magnético creado por un electroimán es más intenso que el creado exclusivamente por la bobina, ya que el hierro dulce se imanta y crea su propio campo magnético, que se suma al de la bobina. Si deja de pasar la corriente, el hierro pierde sus propiedades magnéticas.

Se utiliza para separar latas de hierro, clavos, etc.; como grúa para la manipulación de vehículos en desguaces; en los zumbadores y los timbres, etc.

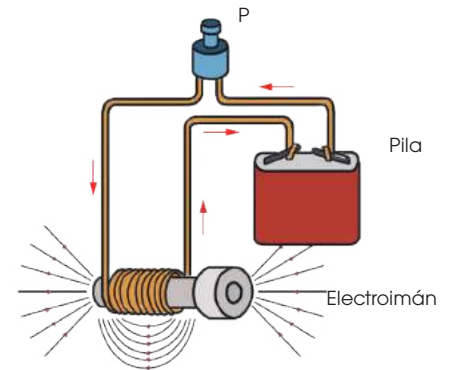
- **Motor eléctrico.** Consiste en una bobina por la que circula una corriente eléctrica alterna, que se sitúa entre los polos de un imán.

Al cambiar el sentido de la corriente, la bobina gira intentando que su polo norte coincida con el sur del imán.



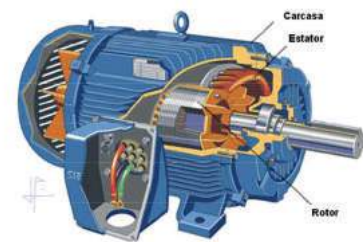
■ Solenoide

■ Fig. 32.



■ Electroimán

■ Fig. 33.



■ Motor eléctrico.

■ Fig. 34.

<http://goo.gl/i37osd>

## 10.3. Corrientes eléctricas producidas por campos magnéticos

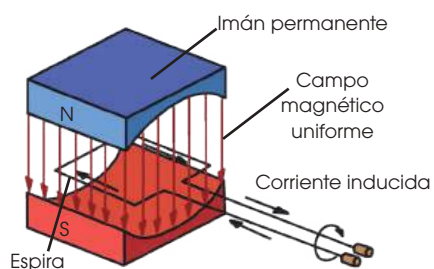


Fig. 35.

### Y TAMBIÉN:



Otra aplicación del electromagnetismo es el transformador. Se trata de un dispositivo que aprovecha la capacidad de la corriente eléctrica de crear un campo magnético y la capacidad del campo para producir corriente, con el objeto de cambiar la tensión y la intensidad de una corriente eléctrica.

Poco después del descubrimiento de Oersted, en 1830, Michael Faraday (1791-1867) descubrió que, del mismo modo que un campo magnético es generado por una corriente eléctrica, un campo magnético situado en las proximidades de un conductor también es capaz de generar una corriente eléctrica en el conductor.

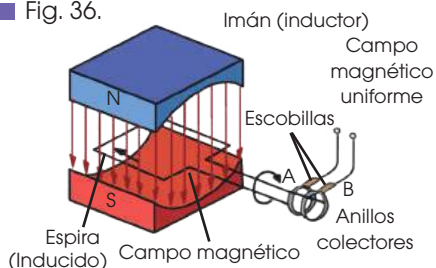
Faraday hizo pasar un imán por el interior de una bobina de un circuito eléctrico y observó que, al meter y sacar el imán en la bobina, se generaba una corriente eléctrica en el circuito (corriente inducida) que cambiaba de sentido según que se introdujese el imán en la bobina o se sacase de ella, y cuya intensidad aumentaba al aumentar la velocidad del movimiento del imán.

Este fenómeno recibe el nombre de inducción electromagnética.

La **inducción electromagnética** es el fenómeno por el que un campo magnético variable origina una corriente eléctrica inducida en un circuito.

La inducción permite obtener energía eléctrica a partir del magnetismo y es la base de los generadores eléctricos, como las dinamos y los alternadores:

Fig. 36.



- **Dinamo:** Es un dispositivo que transforma energía mecánica (movimiento) en corriente continua. Consiste en un imán que gira alrededor de una bobina donde, a causa del movimiento, se genera corriente eléctrica.

Las dinamos se utilizan en las bicicletas para producir la luz de los faros.

- **Alternador:** Transforma energía mecánica en corriente alterna. Está formado por una bobina que gira entre dos imanes.

Al hacer girar la bobina se genera una corriente eléctrica inducida, que cambia su sentido de circulación por la bobina cada vez que esta da media vuelta, por lo que se trata de una corriente alterna.

Los alternadores son muy importantes para nuestra calidad de vida actual, ya que son la base de la generación de electricidad en casi todas las centrales eléctricas: hidroeléctricas, eólicas, térmicas, nucleares, etc.

70. ¿De qué modo podrías proceder para saber si por un conductor pasa corriente eléctrica o no?

71. Al situar la aguja de una brújula sobre un hilo rectilíneo por el que circula una corriente, la aguja gira hasta situarse perpendicular al hilo. ¿Cómo se verá afectada la aguja al invertir el sentido de la corriente?

72. ¿Qué es un solenoide? ¿Cómo son las líneas de campo en su interior?

73. **Explica** lo que pasa con el campo magnético de un electroimán cuando se interrumpe el paso de la corriente.

74. ¿Qué se requiere para que una carga eléctrica genere un campo magnético? ¿Y para que un campo magnético genere una corriente eléctrica?

75. **Explica** las diferencias principales entre una dinamo y un alternador.

# Problemas resueltos



Las principales magnitudes que caracterizan a las acciones entre cargas eléctricas son las fuerzas eléctricas y el campo eléctrico. En estos dos ejercicios insistiremos en su cálculo.

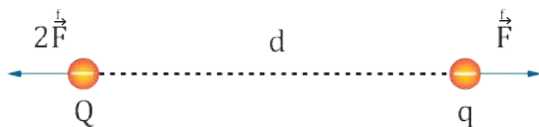
## A

Una carga eléctrica  $Q = -9 \mu\text{C}$  ejerce una fuerza de  $9 \cdot 10^{-2} \text{ N}$  sobre una carga  $q = -4 \text{ nC}$  que está a una distancia  $d$  de la carga  $Q$ . **Dibuja** la fuerza que ejerce  $Q$  sobre  $q$ . ¿Ejerce alguna fuerza la carga  $q$  sobre  $Q$ ? Si las dos cargas están en el agua, ¿cuál es el valor de la distancia de separación entre ellas?.

Solución

Las dos cargas tienen el mismo signo. Por tanto, la fuerza de  $Q$  sobre  $q$  es repulsiva y tiene la dirección de la recta que une ambas cargas.

Por su parte, la carga  $q$  ejerce sobre  $Q$  una fuerza también repulsiva, del mismo valor y de la misma dirección que la fuerza de  $Q$  sobre  $q$  pero de sentido contrario.



Aplicamos la ley de Coulomb para hallar la distancia de separación  $d$ , teniendo en cuenta que, en el agua:

$$K = 1,12 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

$$F = K \frac{Q \cdot q}{d^2} \rightarrow d = \sqrt{\frac{K \cdot Q \cdot q}{F}} =$$

$$\sqrt{\frac{1,12 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^2 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 4 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{9 \cdot 10^{-2} \text{ N}}} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

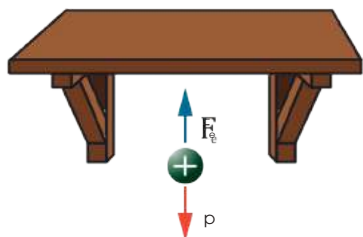
La distancia de separación entre las dos cargas es de 6,7 mm.

## B

Una pequeña bolita de médula de saúco, cargada, se mantiene suspendida en el aire bajo una placa horizontal cargada gracias al campo eléctrico que crea la placa. En esta situación la fuerza de atracción eléctrica equilibra el peso.

Si la intensidad del campo eléctrico es de  $8 \cdot 10^5 \text{ N/C}$  y la masa de la bolita es 600 mg, ¿cuál es la carga de la bolita?

Solución



Datos:  $E = 8 \cdot 10^5 \text{ N/C}$      $m = 600 \text{ mg} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$

Las expresiones de la fuerza eléctrica y del peso son, respectivamente:

$$F_e = q \cdot E \quad p = m \cdot g$$

En el equilibrio, estas dos fuerzas son iguales en módulo.

$$p = F_e \Rightarrow m \cdot g = q \cdot E$$

Despejamos la carga  $q$  y sustituimos los datos del enunciado:

$$q = \frac{m \cdot g}{E} = \frac{6 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{8 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}} = 7,35 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

La carga de la bolita es de 7,35 nC.



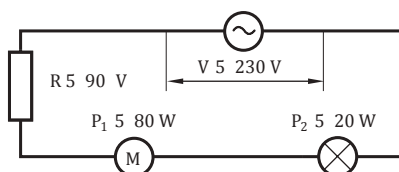
## C

Un generador proporciona una tensión de 230 V y una intensidad de 2 A a un circuito formado por una resistencia de 90 Ω, un motor de potencia igual a 80 W y una lámpara de 20 W de potencia conectados en serie.

- Calcula** la potencia suministrada por el generador.
- Calcula** la potencia consumida en cada uno de los elementos del circuito.
- Efectúa** un balance energético y comprueba que la potencia suministrada es igual a la potencia total consumida en el circuito.

Solución

— Datos:



- La potencia suministrada por el generador es igual a la diferencia de potencial multiplicada por la intensidad.

$$P = V \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 460 \text{ W}$$

El generador suministra una potencia de 460 W.

- Calculamos la potencia disipada en la resistencia, R.

$$P_R = R \cdot I^2 = 90 \Omega \cdot (2\text{A})^2 = 360 \text{ W}$$

Las potencias consumidas son: en la resistencia 360 W, en el motor 80 W y en la lámpara 20 W.

- Comprobamos que, efectivamente, la potencia suministrada por el generador es igual a la suma de todas las potencias consumidas en el circuito.

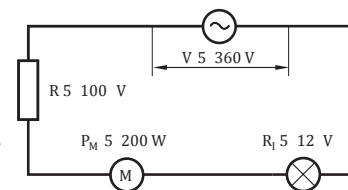
$$P = P_R + P_1 + P_2$$

$$460 \text{ W} = 360 \text{ W} + 80 \text{ W} + 20 \text{ W}$$

$$460 \text{ W} = 460 \text{ W}$$

- Por el circuito de la derecha circula una corriente de 2,5 A.

- Calcula** la potencia suministrada por el generador.
- Calcula** la potencia consumida en cada uno de los elementos del circuito.
- Efectúa** un balance energético y comprueba que la potencia suministrada es igual a la potencia total consumida en el circuito.



## D

Un generador de 230 V está conectado en serie con un calentador de 100 Ω de resistencia, un timbre de 25 W de potencia y un motor de potencia igual a 80 W. **Determina** la intensidad que circula por el circuito sabiendo que la potencia del calentador está comprendida entre la del timbre y la del motor.

Solución

— Datos:  $V = 230 \text{ V}$        $R = 100 \Omega$   
 $P_1 = 25 \text{ W}$        $P_2 = 80 \text{ W}$

- Efectuamos un balance energético en el circuito. La potencia suministrada por el generador es igual a la suma de todas las potencias consumidas en el circuito.

$$P = P_R + P_1 + P_2$$

$$V \cdot I = R \cdot I^2 + P_1 + P_2$$

- Sustituimos los valores del enunciado y obtenemos una ecuación de segundo grado.

$$230 \cdot I = 100 \cdot I^2 + 80 + 25$$

$$100 \cdot I^2 - 230 \cdot I + 105 = 0$$

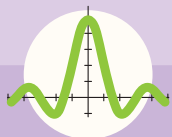
Al resolver esta ecuación se obtienen dos soluciones,  $I = 1,67 \text{ A}$  e  $I = 0,63 \text{ A}$ . ¿Cuál es la correcta?

- Puesto que el enunciado nos dice que la potencia del calentador debe estar comprendida entre la del timbre y la del motor, calculemos dicha potencia.

$I = 1,67 \text{ A}$	$P_R = R \cdot I^2 = 100 \cdot 1,67^2 = 278,9 \text{ W}$	$P_1 < P_2 < P_R$
$I = 0,63 \text{ A}$	$P_R = R \cdot I^2 = 100 \cdot 0,63^2 = 39,7 \text{ W}$	$P_1 < P_R < P_2$

El valor correcto de la intensidad es 0,63 A.

- Un generador se conecta en serie a una estufa eléctrica de 240 Ω de resistencia y una aspiradora de potencia igual a 40 W.
- Si la intensidad de corriente es de 0,5 A, ¿qué diferencia de potencial suministra el generador?
- Un generador suministra una tensión de 230 V a un circuito formado por tres resistencias de 48 Ω, 56 Ω y 84 Ω y un motor de potencia 32 W conectados en serie. **Halla** la intensidad de corriente en el circuito si sabemos que la potencia consumida en el motor es menor que en cualquiera de las tres resistencias.



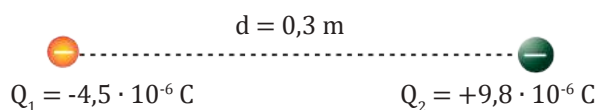
# Ejercicios y problemas

## 1 Naturaleza de la electricidad

1. Cuando limpiamos los vidrios de las ventanas de nuestra casa con un paño de seda frotando repetidamente, podemos observar que el polvo se elimina, pero al poco tiempo algunas partículas de polvo vuelven a adherirse. ¿Cómo lo interpretas?
2. Si te peinas el cabello seco frotándolo fuertemente con un peine de plástico, notarás que tu cabello es atraído por el peine. Si ahora acercas el peine a un fino hilo de agua que salga del grifo, verás que el hilo de agua se desvía. **Interpreta** estos fenómenos.
3. Si un cuerpo tiene una carga de  $-3,5 \text{ nC}$ , ¿cuántos electrones tiene en exceso?
4. **Explica** cómo se comportan frente a la electricidad los materiales conductores y los materiales aislantes.  
— **Cita** cinco cuerpos que sean buenos conductores de la electricidad y cinco que sean aislantes.
5. Si frotas con un paño de lana dos globos hinchados y los aproximas, observarás que se repelen mutuamente. **Interpreta** lo sucedido.
6. Una varilla de vidrio frotada con un pañuelo de seda atrae la bola de un péndulo eléctrico. Si la bola del péndulo establece contacto con la varilla, la bola será repelida por la varilla al poco tiempo. ¿Por qué?
7. ¿Cuántos electrones le faltan a un cuerpo cuya carga vale  $+5,3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ?
8. **Busca** información sobre los materiales llamados semiconductores. **Explica** qué son y cuáles son sus principales aplicaciones.
9. **Efectúa** esta práctica que pone de manifiesto la electrización y la interacción entre cargas eléctricas.  
— **Infla** dos globos y anuda sus extremos. **Ata** cada globo con una cuerda y **fija** las cuerdas a un lugar alto, como el marco de una puerta, dejando una separación de unos 10 a 15 cm entre ellos.  
— **Frota** uno de los globos con tu cabello repetidas veces y después déjalo en reposo, despacio. **Observa** qué ocurre. **Interpreta** lo sucedido.  
— ¿Qué pasaría si hubieras frotado ambos globos en vez de uno solo?

## 2 Fuerzas eléctricas

10. Una carga eléctrica puntual  $Q_1 = +0,73 \mu\text{C}$  repele a otra con una fuerza de  $9,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ . Si ambas están situadas en el vacío a la distancia de 1 m, ¿cuál es el valor de la otra carga? ¿Cuál es su signo?
11. Dos cargas puntuales iguales se repelen con una fuerza de  $1 \cdot 10^{25} \text{ N}$  cuando se colocan a 1 cm de distancia. **Calcula** el valor de una de estas cargas.
12. **Determina** a qué distancia debemos colocar dos cargas eléctricas,  $Q_1 = 150 \text{ mC}$  y  $Q_2 = -125 \mu\text{C}$ , para que se atraigan con una fuerza de 1 N.
13. Dos cuerpos cargados eléctricamente se atraen con una fuerza de 1,25 N cuando están situados en el aire. **Determina** cuál será esta fuerza cuando están situados en el agua.
14. Si se duplica la distancia que separa dos cargas, ¿cómo varía la fuerza eléctrica entre ellas?  
— ¿Cuál sería la intensidad de la fuerza si esta distancia se redujera a la tercera parte?
15. La figura muestra dos cargas eléctricas puntuales.



- a. **Representa** mediante vectores las fuerzas eléctricas que actúan sobre las cargas.
- b. **Calcula** la intensidad de la fuerza que se ejercen mutuamente si están situadas en el aire.

## 3 Campo eléctrico

16. Las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por una carga positiva salen de la carga en dirección radial. ¿Qué dirección y sentido tendrá el campo eléctrico creado por la misma carga en un punto cualquiera?
17. **Halla** la fuerza que actuará sobre una carga de  $6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  al situarla en un punto en el que la intensidad del campo eléctrico vale  $6,3 \cdot 10^4 \text{ N/C}$ .



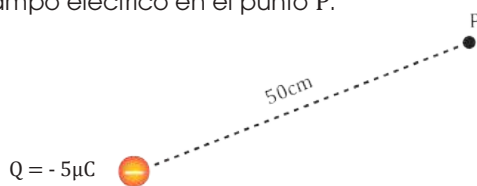
18. Una partícula experimenta una fuerza de 0,21 N cuando se sitúa en un punto en el cual la intensidad del campo eléctrico es de 150 000 N/C.

— **Calcula** el valor de su carga eléctrica.

19. Una partícula cuya carga eléctrica es  $-5,2 \cdot 10^{-12}$  C experimenta una fuerza de 0,05 N al ser colocada en un punto de un campo eléctrico.

— ¿Cuál es la intensidad del campo eléctrico en ese punto?

20. A partir de las expresiones de la ley de Coulomb y de la que relaciona la intensidad de campo eléctrico con la fuerza, **calcula** la intensidad del campo eléctrico en el punto P.



— ¿Qué fuerza experimenta una carga eléctrica de valor  $q = -130$  nC al situarse en este punto?

## 4 Corriente eléctrica

21. ¿Por qué los electrones de un conductor metálico se desplazan en sentido contrario al del campo eléctrico aplicado?

22. En los comercios pueden encontrarse linternas que funcionan sin pilas, puesto que se accionan dando vueltas a una manivela.

—¿De qué tipo de generador eléctrico disponen?

23. **Haz** un esquema comparativo entre los principales tipos de receptores eléctricos, con un ejemplo de cada tipo de dispositivo.

— **Considera** un altavoz. ¿A qué tipo de dispositivo de tu esquema correspondería?

24. ¿En qué consiste la corriente eléctrica? ¿Qué se necesita para producirla?

25. ¿Qué diferencia existe entre una corriente continua y una corriente alterna?

— **Busca** información y **explica** qué generadores eléctricos producen estos tipos de corriente.

26. ¿Qué diferencia hay entre una pila eléctrica y una batería? ¿Puede un acumulador actuar como receptor eléctrico? ¿En qué circunstancias?

## 5 @ Conéctate

27. **Busca** información en Internet y **elabora** mediante un procesador de textos una breve historia de la electricidad.

28. **Utiliza** una calculadora on-line para efectuar en la computadora los siguientes cálculos:

a. La fuerza con la que se repelen dos cargas eléctricas puntuales de valores  $13,2 \cdot 10^{-6}$  C y  $11,5 \cdot 10^{-6}$  C situadas a 1,5 m de distancia en el vacío.

b. La intensidad de campo eléctrico en un punto del espacio, sabiendo que si se sitúa en él una carga eléctrica de 3,40 mC, experimenta una fuerza de 1,73 N.

29. La razón por la cual unos materiales son conductores de la electricidad y otros aislantes está en su diferente estructura atómica. **Investiga** cómo están constituidos estos materiales. Por ejemplo, puedes consultar la página <http://goo.gl/o2xATf>

— **Redacta** un resumen de las características de ambos grupos.

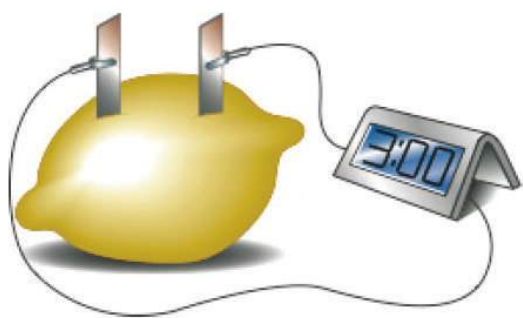
30. **Visita** la página <http://goo.gl/d7G7aW>, en la que podrás visualizar la fuerza eléctrica que actúa sobre varias partículas próximas a un conjunto de cargas eléctricas. **Crea** tu propia distribución de cargas eléctricas, positivas y negativas, **añade** partículas y desplázalas para observar la fuerza eléctrica que actúa sobre ellas.

31. **Visita** la página <http://goo.gl/gnrmGP>.

Aquí podrás visualizar campos eléctricos en tres dimensiones. **Observa** las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por una carga puntual, dos cargas puntuales iguales y un dipolo eléctrico.

## 6 Componente de un circuito eléctrico

32. **Explica** cuál es la función de un receptor en un circuito eléctrico. **Pon** tres ejemplos de receptores.
33. Un interruptor puede adoptar dos posiciones en un circuito: abierto y cerrado. Representálas con su símbolo eléctrico y **explica** cómo se comporta el circuito en cada caso.
34. ¿A qué grupo de componentes del circuito pertenecen las pilas? ¿Qué ocurre cuando una pila se agota?
35. **Dibuja** un esquema de un circuito eléctrico en el que esté representada la conexión en serie de dos grupos de dos bombillas cada uno conectadas en paralelo.
36. **Dibuja** el esquema de un circuito eléctrico elemental.
- **Representa** sobre el esquema el sentido del movimiento de los electrones y el sentido de la corriente.
37. Mediante esta sencilla práctica podrás construir una pila casera. ¡Una pila de limón!
- **Toma** un limón. Apriétalo contra la mesa haciéndolo rodar al mismo tiempo para romper algunas membranas interiores.
  - **Introduce** a través de la corteza dos pequeñas láminas, una de cinc y otra de cobre, de forma que queden próximas pero no se toquen.



## 7 Magnitudes eléctricas

38. La intensidad de corriente en un conductor es de 3,5 A. **Calcula**: a. el tiempo necesario para transportar 5 C a través del conductor;
- b. la intensidad de corriente necesaria para transportar la misma carga en la mitad de tiempo.
39. Un generador de corriente continua efectúa un trabajo de 250 000 J para mantener una corriente de 1 A circulando por una bombilla durante 1,5 horas. ¿Qué diferencia de potencial existe entre los extremos de la bombilla?
40. **Di** de qué factores depende la resistencia eléctrica de un conductor.
- **Expresa** estas relaciones matemáticamente en una fórmula.
41. Una bobina está formada por 30 m de hilo de nichromo ( $\rho = 1 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ) de sección  $2 \text{ mm}^2$ .
- **Calcula** su resistencia eléctrica.
42. Una máquina de afeitar de  $150 \Omega$  de resistencia admite corriente de una intensidad máxima de 2,5 A.
- ¿Cuál es la tensión máxima a la que puede conectarse?
43. Un termopar es un instrumento para medir la temperatura que aprovecha la diferencia de potencial eléctrico que aparece entre dos puntos de un metal que se hallan a distintas temperaturas. En un termopar en el que se genera una tensión de 12 mV circula una intensidad de corriente de 150 mA. **Halla** la resistencia del termopar.
44. Por un circuito circula una carga eléctrica de 126 000 C en 2,5 h. **Calcula** la intensidad de corriente eléctrica.
45. ¿Cuáles son los instrumentos utilizados para medir la intensidad de corriente y la diferencia de potencial en un circuito?
- **Dibuja** el esquema de un circuito eléctrico al que se han conectado estos dos instrumentos.
46. Un conductor de plata ( $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ) tiene una sección de  $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  y una longitud de 110 m. **Calcula** su resistencia.
47. Un avisador acústico tiene una resistencia eléctrica de  $48 \Omega$ . **Calcula** la diferencia de potencial entre sus extremos si por él circula una corriente de intensidad igual a 0,25 A.
48. Un circuito está formado por un generador de corriente continua de 15 V y una asociación en paralelo de dos resistencias de valores  $100 \Omega$  y  $12 \Omega$ . **Calcula** la intensidad que recorre el circuito.

## 8 Transformaciones de energía en un circuito

49. Una batidora se conecta a una diferencia de potencial de 132 V. **Calcula** la energía que consume en 10 min de funcionamiento si circula por ella una corriente de 2,5 A.
50. **Halla** la energía disipada en forma de calor en una resistencia de 1 k $\Omega$  en cuyos extremos se aplica una diferencia de potencial de 127 V durante 1 minuto.
51. ¿Qué intensidad de corriente circula por una bombilla de 60 W y 230 V? ¿Cuál es su resistencia?
52. Una secadora tiene una potencia de 517 W cuando funciona con una diferencia de potencial de 230 V. **Calcula**:
- La intensidad de corriente que circula por ella.
  - La energía que consume durante 1 h 45 min, expresada en kW · h.
  - El coste de la energía consumida si el precio del kilovatio - hora es de 14,22 céntimos.
53. Un reloj de pulsera funciona con una pila de 1,5 V y tiene una resistencia eléctrica de 4,5 V. ¿Cuál es su potencia?

## 9 Producción y transporte de la energía eléctrica

54. **Indica** cuáles son los elementos que se repiten en los esquemas de los distintos tipos de centrales eléctricas.

55. La tensión que utilizamos comúnmente en nuestras casas es de 110 V. Sin embargo, hay países donde se utiliza habitualmente una tensión de 220 V. Imagina que llevamos a uno de estos países un aparato de 110 V. ¿Qué ocurriría al conectarlo a la red? ¿Funcionaría?
- ¿Y si en nuestra casa conectáramos un aparato de 220 V?
56. **Confecciona** una lista de los diferentes tipos de centrales eléctricas que conozcas.
- **Completa** la lista escribiendo al lado de cada tipo de central la fuente de energía que utiliza.
57. **Busca** información sobre el transformador. **Elabora** una presentación que explique qué tipos existen y qué utilidad tienen.

## 10 La electricidad en casa

58. Aunque sería posible hacer llegar la corriente eléctrica a una vivienda sin contador ni cuadro de distribución, estos elementos están presentes en todas las instalaciones eléctricas. ¿Por qué?
59. Razona si todos los aparatos eléctricos de tu casa están conectados a la misma diferencia de potencial.
- ¿Circula por todos ellos la misma intensidad?
60. En un circuito varias bombillas están conectadas en serie. Una de ellas se funde. ¿Cómo afecta esto al funcionamiento de las demás?

## 11 Magnetismo

61. Disponemos de dos barras metálicas idénticas. Una está imantada y la otra no. **Explica** de qué forma procederías para averiguar cuál está imantada si, además de las barras, dispones de un imán.
62. Las líneas de campo de un imán pueden ponerse de manifiesto fácilmente utilizando limaduras de hierro. ¿Qué representan estas líneas? ¿Se les atribuye algún sentido?
63. ¿Qué efectos produce un muelle por el que circula una corriente de gran intensidad?
64. Dispones de una bobina, un cable eléctrico, una lámpara y un imán. **Explica** cómo conseguirías encender la lámpara y **diseña** el circuito que necesitarás.
65. ¿Coinciden exactamente los polos magnéticos con los polos geográficos de la Tierra?
- **Di** qué se entiende por declinación magnética.
66. **Explica** en qué consiste el fenómeno de la inducción electromagnética.

## 12 Algo más

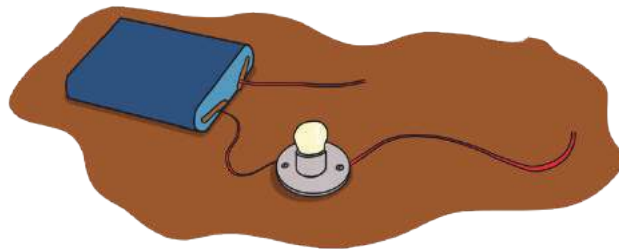
67. **Visita** la página <http://goo.gl/XMtt1n>  
Se te ofrece un tablero de conexiones virtual.
- **Implementa** un circuito formado por un generador de 10 V conectado en paralelo con dos resistencias de 100  $\Omega$  y 10  $\Omega$ .
  - **Mide** la intensidad y la tensión que soporta cada resistencia conectando un amperímetro y un voltímetro en los puntos necesarios.
68. La velocidad del cometa Halley en el punto más cercano al Sol de su órbita es  $1,90 \cdot 10^5$  km  $\cdot$  h<sup>-1</sup>. Calcula su velocidad en el punto más lejano sabiendo que las distancias entre ambos puntos y el Sol son  $8,55 \cdot 10^7$  km y  $5,25 \cdot 10^9$  km.
- ¿Qué has tenido en cuenta para efectuar el cálculo?
69. Razona qué relación existe entre el peso de un satélite que se encuentra en una órbita de radio r en torno a la Tierra y el que tendría en la superficie terrestre.
70. Razona si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:
- El campo eléctrico generado por una carga puntual tiene siempre un sentido de alejamiento de esta carga.
  - Las líneas de fuerza del campo eléctrico nunca pueden cortarse en un punto del espacio.
  - El campo eléctrico que genera una carga a su alrededor tiene un alcance infinito.
  - Existe fuerza eléctrica entre dos cuerpos cualesquiera del universo.
71. Un material conductor transporta una corriente de intensidad igual a 3 A. **Calcula** la cantidad de carga que atraviesa una sección del conductor durante un tiempo de 10 min.
72. ¿Cómo varía la resistencia de un cable eléctrico al aumentar su sección?
73. **Determina** la intensidad de corriente eléctrica que circula por una linterna cuya resistencia es de 1,8  $\Omega$  si se conecta a una tensión de 4,5 V.
74. Un tostador de resistencia igual a 80  $\Omega$  se conecta a una tensión de 230 V. **Determina** la potencia consumida.
75. Razona si la afirmación siguiente es correcta y, en caso contrario, corrígela: «Dos imanes colocados uno al lado del otro siempre se atraen».

## ¿CONDUCTOR O AISLANTE?

Vamos a distinguir materiales conductores de la electricidad de materiales aislantes, según conduzcan o no la corriente eléctrica.

### MATERIALES:

- Una pila de 4,5 V
- Una bombilla de linterna
- Un portalámparas
- Un tablero de madera
- Cable eléctrico (unos 60 cm)
- Tijeras y cinta aislante
- Tornillos y destornillador
- Mina de lápiz gruesa



Objetos para analizar: llave, cucharilla, pinza de plástico, pinza de madera, monedas de diferentes metales, clavo, vaso de vidrio, clip, hoja de papel...

<http://goo.gl/QRe4zi>



<http://goo.gl/PsBENN>



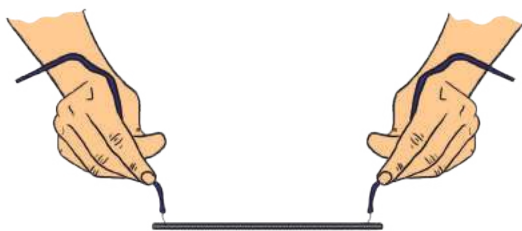
<http://goo.gl/FAjXNP>

## PROCESOS:

- **Corta** dos cables: uno de 15 cm y otro de 30 cm, aproximadamente, y **pela** sus extremos.
- **Une** cada uno de ellos a un borde de la pila.
- **Sujeta** la pila sobre el tablero con cinta aislante.
- **Conecta** el cable más corto al portalámparas y **sujeta** este al tablero con unos tornillos.
- **Enrosca** en el portalámparas una bombilla.
- **Corta** un tercer cable de unos 15 cm y **pela** sus extremos. Conéctalo al portalámparas.

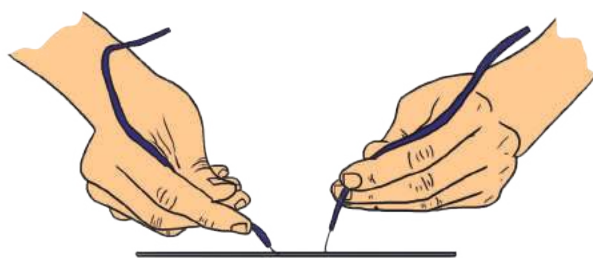
### Primera parte

- **Toca** los objetos que te hemos indicado y otros que te proponga el profesor/a con los extremos de los dos cables libres. **Clasifica** estos objetos en dos grupos, según si se enciende la bombilla al tocarlos con los cables o se mantiene apagada.



### Segunda parte

- **Toca** los extremos de la mina del lápiz con los dos cables. **Comprueba** si se enciende la bombilla.
- Ve acercando los dos cables poco a poco al centro de la mina hasta que casi se toquen. **Observa** qué le pasa a la bombilla.



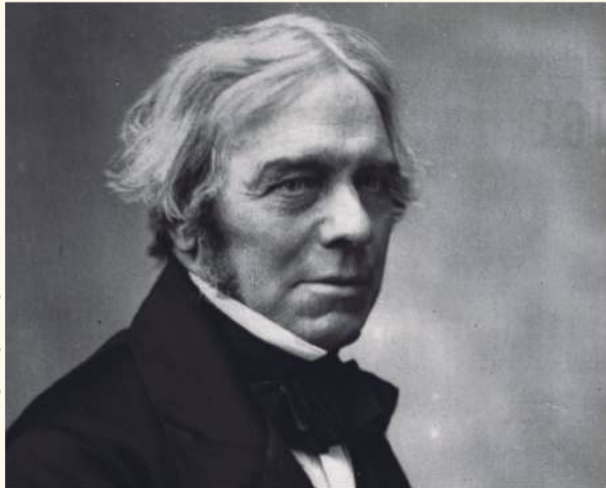
## CUESTIONES:

- ¿Qué diferencia hay entre los materiales conductores de la electricidad y los aislantes?
- Según la experiencia realizada, ¿los metales son buenos conductores de la electricidad?
- ¿Es un buen conductor de la electricidad la mina de grafito? ¿Qué le pasa a la bombilla al ir acercando los cables? **Explica** ¿por qué la mina se comporta de esta manera?



CRITICAL SENSE

## Biografía de Michael Faraday y sus experimentos



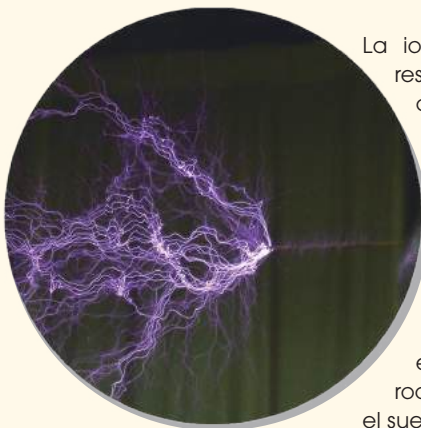
<http://goo.gl/sEfgDn>

Michael Faraday nació en una localidad cercana a Londres en 1791. A los 14 años empezó a trabajar en un taller de encuadernación, donde leía algunos de los libros que encuadernaba, interesándose principalmente en los de física y química. Gracias a la oportunidad que le ofreció un cliente suyo pudo asistir a las conferencias del químico Humphry Davy y llegó a convertirse en uno de sus discípulos. Más tarde, y gracias a la influencia de Davy, empezó a investigar de manera autónoma en el campo de la química, y descubrió los primeros compuestos conocidos de carbono y cloro, entre ellos el benceno.

A partir de 1821 Faraday investigó en los campos de la electricidad y del magnetismo, y en electroquímica, donde iba a conseguir sus más grandes logros. Faraday descubrió el principio del motor eléctrico (la inducción electromagnética), la primera dinamo y la corriente alterna.

SOCIETY

## La ionización del aire



<https://goo.gl/B2ktXD>

La ionización del aire que respiramos se produce de forma natural como consecuencia de la acción de la radiactividad de la corteza terrestre, los rayos cósmicos, la fricción de las gotas de agua de una cascada o las olas del mar con el aire circundante, el roce de los vientos sobre el suelo.

El resultado de este proceso es la formación de iones (especies cargadas eléctricamente de signo positivo o negativo) entre los gases que componen la atmósfera, debido a la pérdida o ganancia de electrones.

En una atmósfera equilibrada, bajo ciertas condiciones, podemos encontrar estos iones en una concentración de entre 1 000 y 2 500 iones por centímetro cúbico. En las ciudades, debido principalmente a la contaminación atmosférica, hay un exceso de iones positivos, mientras que en el campo predominan los negativos.

En la actualidad, se considera que un exceso de iones positivos (respecto de los negativos) en el aire que respiramos es perjudicial para la salud, mientras que una mayor presencia de iones negativos tiene efectos beneficiosos.

Prohibida su reproducción

BLOG

## El nuevo pararrayos

El pararrayos fue inventado por Benjamín Franklin en 1752. Consiste en una punta metálica situada en la parte más alta de un edificio, conectada a tierra mediante gruesos cables conductores. La carga negativa de la nube induce una carga positiva en la punta del pararrayos con lo que se provoca el rayo, que es absorbido por el conductor y descargado a tierra con seguridad a través de este. No obstante, este método no está exento de altos riesgos, pues en lugar de evitar la formación del rayo se incentiva esta y se conduce a tierra.

Actualmente, en los llamados pararrayos desionizadores de carga electrostática se utiliza con éxito el nuevo sistema de transferencia de carga (CTS). Este sistema se basa en transferir la carga eléctrica antes de la formación del rayo, evitando la descarga al mantener la tensión eléctrica siempre por debajo del valor de ruptura.

<http://goo.gl/f3RPva>





- Un **circuito eléctrico** es un sistema en el que la corriente eléctrica que procede de un generador vuelve a este, después de ser utilizada de algún modo.

- La **intensidad de corriente eléctrica** es la cantidad de carga que atraviesa una sección del conductor en la unidad de tiempo. Su unidad en el SI es el amperio (A).

$$I = \frac{Q}{t}$$

- La **diferencia de potencial** entre dos puntos de un circuito es el trabajo necesario para transportar la unidad de carga desde un punto al otro. Su unidad en el SI es el voltio (V).

$$V = \frac{W}{Q}$$

- La **resistencia eléctrica** de un conductor es una magnitud física que indica la dificultad que ofrece al paso de la corriente eléctrica. Su unidad en el SI es el ohmio ( $\Omega$ ).

- Depende del material que forma el conductor, de la longitud de este y de su sección.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

- La resistencia equivalente a las asociaciones de resistencias en serie y en paralelo son, respectivamente:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$$

- **Ley de Ohm.** El **cociente** entre la **diferencia de potencial** aplicada a los extremos de un conductor y la **intensidad de corriente** que circula por él es una **constante** que coincide con la **resistencia eléctrica** del conductor.

$$R = \frac{V}{I}$$

- La **energía suministrada** por el generador y la **energía consumida** por un receptor pueden calcularse mediante la expresión:  $E = V \cdot I \cdot t$

- **Efecto Joule.** Es el fenómeno por el cual la energía eléctrica se transforma en calor cuando la corriente eléctrica atraviesa un conductor:  $E = R \cdot I^2 \cdot t$

- La **potencia eléctrica** es la energía suministrada por un generador eléctrico o consumida por un receptor eléctrico en la unidad de tiempo.

$$P = \frac{E}{t} = V \cdot I$$

- Potencia consumida en un receptor eléctrico:  $P = R \cdot I^2$

- La energía eléctrica generada en las centrales eléctricas se **transporta** a los lugares de consumo, para ello, los valores de la tensión eléctrica se modifican mediante transformadores.

- La **instalación eléctrica de una vivienda** consta de distintos elementos, tanto para proteger a los usuarios, como para registrar su consumo eléctrico y facilitar la conexión de los receptores.

- El **magnetismo** es la propiedad que tienen algunos materiales (imanes) y las cargas eléctricas en movimiento de atraer a las llamadas sustancias magnéticas.

- Los **imanes** atraen al hierro y otros metales, tienen dos polos (norte y sur), los polos del mismo nombre se repelen y los de distinto nombre se atraen, y los polos de un imán no pueden separarse en ningún caso.

- El **campo magnético** es la perturbación que un imán crea en el espacio que lo rodea, a causa de la cual se ponen de manifiesto fuerzas magnéticas sobre otros cuerpos. Se representa mediante **líneas de fuerza**.

- La **inducción electromagnética** es el fenómeno por el que un campo magnético variable origina una corriente eléctrica inducida en un circuito.





## Para finalizar

- 1 Al aproximar un cuerpo cargado eléctricamente a un cuerpo neutro, este último se electriza por:
  - a. Frotamiento
  - b. Inducción
  - c. Contacto
- 2 En días secos y si tenemos la piel poco hidratada, antes de tocar con las manos superficies metálicas como la puerta de un automóvil, se aconseja que toquemos el suelo con las manos para evitar que nos dé un calambre. ¿Por qué?
- 3 Para proteger los cables eléctricos, se les pone un recubrimiento de un material:
  - a. conductor;
  - b. aislante;
  - c. conductor o aislante, siempre que no esté electrizado.
- 4 **Calcula** el valor de la fuerza eléctrica entre dos cargas,  $Q_1 = 24,5 \text{ nC}$  y  $Q_2 = 12,5 \text{ nC}$ , si están separadas una distancia de  $1,5 \text{ cm}$  en el vacío. ¿Es una fuerza atractiva o repulsiva? **Dibuja** las dos cargas puntuales y **representa** la fuerza eléctrica que ejerce cada una de ellas sobre la otra carga.
- 5 Si las cargas de la actividad anterior están situadas dentro de un vidrio en vez de en el vacío, ¿cómo varía la fuerza eléctrica que se ejercen?
- 6 Las líneas de fuerza del campo eléctrico se usan para:
  - a. Protegernos del campo eléctrico.
  - b. Medir la intensidad del campo eléctrico.
  - c. Representar el campo eléctrico.
- 7 ¿Cuál es la unidad de intensidad del campo eléctrico en el SI?
- 8 Una partícula con una carga eléctrica  $q = -650 \text{ nC}$  experimenta una fuerza de  $2,21 \text{ N}$  al situarse en un punto del espacio. **Calcula** la intensidad del campo eléctrico en dicho punto.
- 9 **Explica** la diferencia entre un generador eléctrico y un receptor eléctrico.
- 10 **Compara** los resultados, para las constantes elásticas, obtenidos en tu grupo (ver la experiencia de la página 81) con los de los otros, y **discute**, en tu propio grupo o con los demás, si tiene importancia el valor de la masa que se cuelga del muelle en el resultado del experimento.  
— ¿Por qué has debido calcular el valor medio para determinar la constante elástica?
- 11 **Determina** el momento angular que posee un aro de  $85 \text{ gramos}$  de masa y  $150 \text{ mm}$  de radio, respecto a su centro, cuando gira a  $33 \text{ r.p.m.}$  sobre el plato de un antiguo tocadiscos.

**12 Busca** información en Internet y **redacta** un texto en el que expliques uno de estos dos temas:

- Cómo tienen en cuenta la dinámica del movimiento circular uniforme los ingenieros de Fórmula 1 (masa y altura del vehículo, características de los neumáticos en función de las condiciones climatológicas, radio de las curvas...).
- La física de una montaña rusa (fuerzas que intervienen en los distintos tramos, pérdidas en forma de calor por el rozamiento...).

**13 Enumera** distintos sistemas físicos o cuerpos a los que pueden aplicarse las leyes de Kepler.

**14 Di** si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones acerca de la fuerza gravitatoria. **Argumenta** tu respuesta.

- a. Su alcance es infinito.
- b. Existe entre cualquier pareja de objetos del universo.
- c. Es inversamente proporcional a la distancia que separa los objetos.
- d. Tiene carácter atractivo o repulsivo.

**15 Indica** cuál de las siguientes afirmaciones acerca del campo gravitatorio terrestre es verdadera:

- a. El peso de un objeto depende de su cantidad de materia, por lo que su valor es constante.
- b. La masa de Marte es menor que la de la Tierra, por lo que el campo gravitatorio en su superficie será mayor que el campo gravitatorio en la superficie de la Tierra.
- c. El campo gravitatorio tiene unidades de aceleración, por lo que una masa que esté dentro del campo gravitatorio creado por otra se moverá siempre hacia ella con movimiento acelerado.
- d. Los astronautas «flotan» en las naves espaciales porque su peso es mucho menor que el que tienen en la superficie de la Tierra.

**16 Determina** los transbordadores espaciales orbitan en torno a la Tierra a una altura aproximada de 300 km. **Calcula** el campo gravitatorio al que están sometidos y el período de su movimiento.

Datos:  $R_T = 6\,400\text{ km}$ ;  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24}\text{ kg}$ .

## EVALUACIÓN

Reflexiona y **autoevalúate** en tu cuaderno:

• Trabajo personal

¿Cómo ha sido mi actitud frente al trabajo?

¿He cumplido mis tareas?

¿Qué aprendí en esta unidad?

• Trabajo en equipo

¿He compartido con mis compañeros y compañeras?

¿He respetado las opiniones de los demás?

• **Escribe** la opinión de tu familia.

• **Pide** a tu profesor o profesora sugerencias para mejorar y **escribelas**.

## CAPTACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

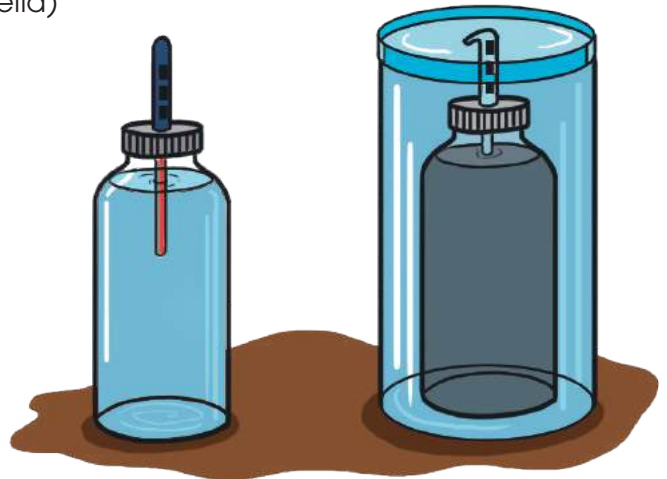


<http://goo.gl/9A6Sw8>

En esta experiencia vamos a captar la energía del Sol y a observar el efecto de la radiación solar sobre una superficie transparente y otra oscura introducida en un recipiente de plástico. Esta práctica se debe hacer en un día soleado.

### 12 PLANIFICAMOS

- Dos botellas de plástico iguales y transparentes de 1,5 L
- Una urna o recipiente de plástico transparente con su tapa (en él debe caber una botella)
- Dos termómetros
- Pintura negra
- Agua



## DESARROLLAMOS:

1. **Quita** todos los adhesivos de las botellas de plástico. **Pinta** de negro una de ellas por su parte exterior y **deja** la otra transparente.
2. **Llena** de agua a temperatura ambiente ambas botellas. En cada una de ellas **fija** un termómetro en contacto con el agua.
3. **Introduce** la botella pintada de negro en el recipiente de plástico y tápalo.
4. **Pon** ambas botellas al sol. La botella pintada de negro dentro del recipiente y la otra fuera de este, a su lado.
5. **Anota** la temperatura del agua en las dos botellas. **Efectúa** nuevas medidas de temperatura cada 5 minutos y **completa** en tu cuaderno la tabla que se adjunta.
6. **Representa** gráficamente la temperatura en función del tiempo para cada botella.

Tiempo (min)	Temperatura de la botella transparente (°C)	Temperatura de la botella negra (°C)
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		

## CUESTIONAMOS:

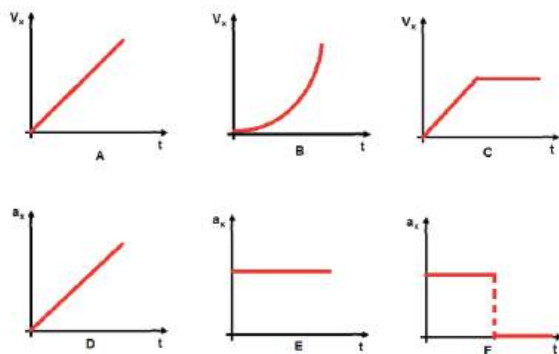
- a. **Observa** atentamente las gráficas que has obtenido e **interpreta** los resultados.
- b. Al pintar de negro una botella, conseguimos que alcance mayor temperatura. ¿Por qué?
- c. Introducir una botella en un recipiente transparente y cerrado también contribuye a que su temperatura sea mayor. ¿Por qué? ¿Con qué nombre se conoce este efecto?
- d. **Propón** alguna aplicación técnica de los hechos observados.

# Un alto en el camino

**1** **Identifica** bajo cuáles de las siguientes condiciones la magnitud de la velocidad promedio de una partícula que se mueve en línea recta es más pequeña que la rapidez promedio en algún intervalo de tiempo. Seleccione una respuesta:

- a. Una partícula se mueve en la dirección +X sin regresar
- b. Una partícula se mueve en la dirección -X sin regresar
- c. Una partícula se mueve en la dirección +X y luego invierte la dirección de su movimiento
- d. No existen condiciones para que esto sea cierto

**2** **Relaciona** cada gráfica de  $v_x=f(t)$  con la gráfica de  $a_x=f(t)$  según corresponda:



**3** Un proyectil después de lanzado se mueve por una trayectoria parabólica, ¿en qué punto a lo largo de la trayectoria los vectores velocidad y aceleración serán mutuamente perpendiculares?

- a. En ninguna parte
- b. En el punto más alto
- c. En el punto de lanzamiento

**4** Mientras una persona conduce, la policía de tránsito está más interesada en:

- a. La rapidez promedio
- b. La rapidez instantánea

**5** Bajo qué ángulo se logra el máximo alcance con un proyectil:

- a.  $30^\circ$
- b.  $45^\circ$
- c.  $60^\circ$

**6** Una partícula se mueve por una trayectoria circular de radio  $r$  con rapidez  $v$ . Luego aumenta su rapidez a  $2v$  mientras viaja a lo largo de la misma trayectoria circular. ¿En cuánto cambió la aceleración centrípeta de la partícula?

- a. 0,25
- b. 4,0
- c. 2,0
- d. 0,5

7 Se aplican dos fuerzas a un cuerpo en la misma dirección. ¿Cómo tienen que ser las fuerzas para que el cuerpo permanezca en reposo?

8 **Dibuja** la resultante de los siguientes sistemas de fuerzas y **calcula** su módulo: a. Dos fuerzas de 125 N y 75 N aplicadas sobre la misma recta y con sentido contrario; b. Dos fuerzas perpendiculares de 8 N y 3 N.

9 La resultante de dos fuerzas perpendiculares es de 40 N y una de ellas vale 25 N. a. **Dibuja** el esquema de las fuerzas; b. **Determina** el módulo de la otra fuerza.

10 Un remolque es arrastrado por dos fuerzas horizontales de 15 N y 20 N que forman entre sí un ángulo de  $45^\circ$ .

a. **Dibuja** el esquema de las fuerzas, incluida la resultante;

b. **Calcula** el módulo de la fuerza resultante.

Se aplican dos fuerzas a un cuerpo en la misma dirección.

¿Cómo tienen que ser las fuerzas para que el cuerpo permanezca en reposo?

11 En el átomo de hidrógeno la distancia media entre el electrón y el protón es de  $5 \times 10^{-11}$  m. **Halla** la fuerza electrostática con que se atraen estas partículas.

12 Sabiendo que un núcleo de litio tiene tres protones y que el radio atómico del litio es de  $1,2 \times 10^{-10}$  m, **halla** la fuerza con que el núcleo atrae a un electrón.

13 **Calcula** la distancia entre dos cargas puntuales de +750 pC y +270 pC que están en el agua ( $\epsilon_r = 80$ ) si la fuerza con que se repelen es de  $9 \times 10^{-9}$  N.

14 **Calcula** el valor de una carga puntual que es atraída con una fuerza de  $2,7 \times 10^{-6}$  N por otra carga puntual de +150 nC cuando ambas están en el aire separadas una distancia de 10 m.

15 Dos esferas metálicas situadas en el vacío tienen cargas eléctricas de +12  $\mu\text{C}$  y +64  $\mu\text{C}$ . Si sus centros están separados una distancia de 50 cm, **determina**:

a. La fuerza electrostática que se ejercen.

b. La distancia a la que deberíamos colocar las esferas para que esta fuerza se redujera a la mitad.

# 4

# Energía

## CONTENIDOS:

1. **La energía y sus propiedades**
  - 1.1. Formas de energía
  - 1.2. Conservación y degradación de la energía
  - 1.3. Trabajo
2. **Las fuentes de energía**
  - 2.1. Fuentes de energía no renovables
  - 2.2. Fuentes de energía renovables
3. **El uso sostenible de la energía**
  - 3.1. Ahorro energético
  - 3.2. Reciclaje
4. **Máquinas mecánicas**
  - 4.1. Rendimiento de las máquinas mecánicas
  - 4.2. Reciclaje



### Películas

Las energías renovables.

En éste documental se hace referencia a las fuentes de energía renovables que existen en la naturaleza y la importancia de estos recursos.

Se hace énfasis en los principios físicos que fundamentan la utilización de estas fuentes de energía.

<https://goo.gl/gJ05sL>

### EN CONTEXTO

**Observe** el documental:

- a. **Mencione** las fuentes de energía renovable que existen.
- b. ¿Qué ventajas ofrecen las fuentes de energía renovables sobre las no renovables?
- c. **Realice** una valoración sobre la importancia del uso de una energía sustentable para el medio ambiente y los efectos perjudiciales del uso de combustibles fósiles.

<https://goo.gl/yuvd0Gj>



# I. LA ENERGÍA Y SUS PROPIEDADES

El término energía es muy utilizado en el lenguaje cotidiano. Así, decimos que es preciso reducir el consumo de energía, que el Sol es una fuente de energía, que se están investigando energías alternativas. Todo esto indica la gran importancia que la energía tiene en nuestras vidas. Pero, ¿qué es realmente la energía?

## Ejemplo 1



<http://goo.gl/fygw1C>

La **energía** es la magnitud física por la que los cuerpos tienen capacidad para realizar transformaciones en ellos mismos o en otros cuerpos.

La unidad de energía en el Sistema Internacional es el julio (J).

## 1.1. Formas de energía

En el ejemplo anterior hemos visto una manifestación de la energía, en forma de movimiento. Pero la energía se presenta en la naturaleza de diversas formas.

### Energía mecánica

Es la energía asociada al movimiento de los cuerpos o a la posición que ocupan. Puede presentarse de las siguientes formas:

### Y TAMBIÉN:

Existen otras unidades de energía de uso habitual, y sus equivalencias con el julio son:

- La **caloría** (cal)  
 $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$
- El **kilovatio-hora** (kW · h)  
 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

Forma en que se presenta la energía mecánica	Energía cinética	Energía potencial gravitatoria	Energía potencial elástica
Descripción	 <p>Es la que poseen los cuerpos al estar en movimiento.</p>	 <p>Es la que poseen los cuerpos por el hecho de estar a cierta altura sobre la superficie de la Tierra.</p>	 <p>Es la que poseen los cuerpos elásticos a causa de la deformación que han experimentado.</p>

### Energía eléctrica

Es la que posee la corriente eléctrica. Se produce en grandes instalaciones, denominadas centrales eléctricas, por medio de generadores eléctricos. También se produce en una pila eléctrica o en una batería.



### Energía radiante o electromagnética

Se transmite a través de las radiaciones electromagnéticas, como la luz visible, la luz infrarroja, la luz ultravioleta, los rayos X, los rayos  $\gamma$  o las ondas de radio.

La energía solar es la más importante, pues de ella procede la mayor parte de la energía de que dispone la Tierra.



### Energía química

La poseen todas las sustancias de la naturaleza, debido a la fuerza con que están unidos sus átomos.

Se pone de manifiesto en las reacciones químicas que se producen tanto en la materia inerte como en los seres vivos.



### Energía nuclear

Procede de los núcleos atómicos. Se manifiesta cuando estos se dividen (fisión) o se unen (fusión). En estos procesos, parte de la masa de los núcleos atómicos se convierte en esta forma de energía.



### Energía térmica

Es la forma de energía que fluye de un cuerpo a otro cuando entre ellos existe una diferencia de temperatura.

Produce efectos como variaciones de temperatura, cambios de estado o dilataciones.

#### 1. Responde y justifica tus respuestas.

- Al abrir una puerta se comprime un muelle y, por efecto de este, la puerta se cierra automáticamente. ¿Qué forma de energía adquiere el muelle al comprimirse?
- Conectamos un ventilador a la red eléctrica y comienza a girar. ¿Qué forma de energía lo hace funcionar?
- Sujetamos con la mano un termómetro y el

- mercurio asciende a través de él. ¿Qué forma de energía provoca la dilatación del mercurio?
- Levantamos un martillo para clavar un clavo en una tabla. ¿Qué forma de energía posee el martillo cuando está alzado?
- Enviamos un cohete a la Luna. ¿Qué forma de energía permite que el cohete ascienda en el cielo?

## Y TAMBIÉN:

El **rendimiento energético** es la relación entre la energía útil que obtenemos de un sistema y la energía que le suministramos.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Energía útil obtenida}}{\text{Energía total suministrada}}$$

Habitualmente se multiplica esta cifra por 100 para expresar el rendimiento en tanto por ciento.

## 1.2. Conservación y degradación de la energía

Las distintas formas de la energía que hemos visto no existen de manera aislada, sino que en la naturaleza la energía se transforma continuamente de una forma a otra.

### Ejemplo 2

En la fotosíntesis, las plantas absorben la energía radiante del Sol y la transforman en energía química, al sintetizar moléculas orgánicas que utilizarán para su crecimiento y su desarrollo.



Esto sucede de manera que la energía cumple una ley general que recibe el nombre de principio de conservación de la energía:

La **cantidad total** de **energía** del universo se mantiene **constante** en cualquier proceso.

Así, la energía consumida no desaparece, sino que se transforma en otras formas de energía. Esto quiere decir que la energía total permanece constante en todas las transformaciones, de manera que las cantidades de energía inicial y final son iguales.

Ahora bien, aunque la energía se conserva, siempre hay una parte de ella que se pierde en forma de calor y se disipa en el entorno. Esto hace que después de cada transformación se degrade, pierda calidad y resulte menos aprovechable, como expresa el principio de degradación de la energía:

Con cada transformación, la energía va perdiendo utilidad para producir nuevas transformaciones: se **degrada**.

Por ejemplo, la energía eléctrica es de gran calidad porque puede transformarse en energía mecánica, en luz o en calor. En cambio, la energía térmica es de baja calidad, o degradada, pues tiene poca o nula capacidad para producir transformaciones útiles en los cuerpos.

2. Al pulsar el interruptor de un ventilador eléctrico, las aspas empiezan a girar y refrescan el ambiente. **Describe** las transformaciones de energía que tienen lugar en el proceso.
3. **Explica** el significado de conservación y degradación de la energía.
  - ¿A qué nos referimos cuando decimos que la energía química es de mayor calidad que la energía térmica?
4. **Determina** el rendimiento en porcentaje (%) de una central térmica de ciclo combinado que es capaz de obtener 58 J de energía eléctrica por cada 100 J de energía contenida en el combustible que utiliza.

### Actividades

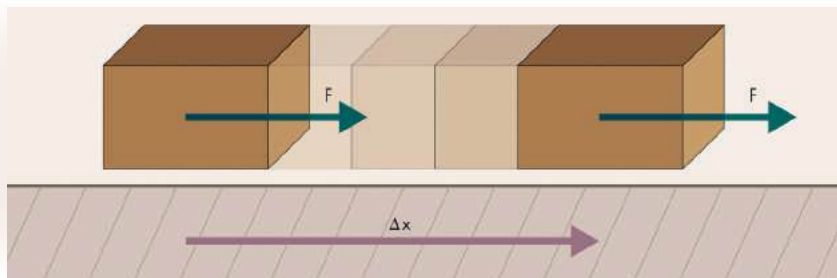
### 1.3. Trabajo

No siempre que efectuamos un esfuerzo realizamos un trabajo, según el concepto físico de esta magnitud. Si empujas con fuerza un armario durante un rato, pero no consigues moverlo, habrás hecho un esfuerzo, pero la física no lo considera como trabajo.

Sin embargo, si empujas un carrito de un supermercado y lo desplazas por un pasillo, sí que habrás realizado un trabajo.

Así, para realizar un trabajo se necesita una fuerza que actúe sobre un cuerpo y que el cuerpo se desplace una cierta distancia.

El **trabajo** de una fuerza constante que actúa sobre un cuerpo que se desplaza en la misma dirección y sentido de la fuerza, es el producto de la fuerza por el desplazamiento del cuerpo.



El trabajo se representa por la letra **W**:  $W = F \cdot \Delta x$

La unidad de trabajo en el Sistema Internacional es el julio (J). Un julio es el trabajo que realiza una fuerza constante de 1 N cuando aplicada sobre un cuerpo lo desplaza 1 m sobre su línea de acción.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Si la fuerza tiene sentido contrario al desplazamiento, el trabajo es negativo,  $W = -F \cdot \Delta x$ ; mientras que si la fuerza es perpendicular al desplazamiento, el trabajo es nulo.

#### Ejemplo 3

Una empresa de mudanzas sube un piano con una fuerza de 4 110 N a un quinto piso que se encuentra a 15 m de altura.

**Calcula** el trabajo que realiza la fuerza.

— Organizamos los datos del problema:

$$F = 4\,110 \text{ N} \quad d = 15 \text{ m}$$

— Calculamos directamente el trabajo:

$$W = F \cdot d = 4\,110 \text{ N} \cdot 15 \text{ m} = 61\,650 \text{ J}$$



5. Un perro arrastra un trineo 100 m con una fuerza constante de 25 N. **Calcula** el trabajo que ha realizado.

6. Una persona que lleva una maleta y recorre un pasillo recto de 25 m. **Calcula** el trabajo que realiza si empuja la maleta con una fuerza de 15 N, arrastrándola por el suelo.

#### Actividades

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA

Ya conocemos diversas formas de energía, aquellas en las que la energía se presenta en la naturaleza: mecánica, térmica, eléctrica... Pero, ¿de dónde obtenemos los seres humanos energía utilizable en nuestras actividades? La energía que utilizamos para calentarnos o para poner en funcionamiento las máquinas procede de las denominadas fuentes de energía.

Las **fuentes de energía** son el conjunto de recursos naturales que se utilizan para obtener energía.

Las fuentes de energía de que disponemos en la actualidad se clasifican, según si sus existencias en la naturaleza son limitadas, en fuentes de energía no renovables o, si son prácticamente inagotables, en fuentes de energía renovables.

### 2.1. Fuentes de energía no renovables

Las **fuentes de energía no renovables** son aquellas que se encuentran en la Tierra en cantidad limitada y, por tanto, se agotan con su utilización. La velocidad de consumo de estas fuentes de energía es mayor que la velocidad de regeneración. Las más importantes son el uranio, el carbón, el petróleo y el gas natural.



#### Uranio

El uranio es un elemento del que se obtienen elevadas cantidades de energía. Cuando se bombardean sus átomos con neutrones, el núcleo se fisiona, es decir, se rompe, y se inicia una reacción en cadena. La energía nuclear del uranio se utiliza, principalmente, para la producción de energía eléctrica.

#### • Ventajas:

- Alto rendimiento energético. De una pequeña cantidad de uranio, puede extraerse gran cantidad de energía.
- Las reservas de uranio, aunque limitadas, son más abundantes que las de los combustibles fósiles.

#### • Inconvenientes:

- La fisión produce residuos radiactivos muy difíciles de eliminar y que plantean serios problemas de almacenamiento.

#### Carbón

Es una roca sedimentaria, producto de un largo proceso experimentado por grandes cantidades de restos vegetales sepultados hace millones de años entre los sedimentos de la corteza terrestre. Estos restos vegetales fueron sometidos a la acción de altas temperaturas y presiones de forma continuada durante un largo período con lo que se fueron transformando en carbón. Se utiliza como combustible en las industrias metalúrgicas y en las centrales térmicas, donde sirve de materia prima para producir electricidad.

#### • Ventajas:

- Es el combustible fósil más abundante en el planeta.
- Su extracción y su explotación son relativamente económicas.

#### • Inconvenientes:

- Sus reservas son limitadas.
- Los gases que desprende su combustión contaminan la atmósfera (provocan efecto invernadero y lluvia ácida).

#### Y TAMBIÉN:



El **poder calorífico** de un combustible, o **calor de combustión**, es la energía que proporciona por unidad de masa. Se acostumbra a expresar en kJ/kg.



## Petróleo

Se trata de un líquido viscoso, de color pardo o negruzco, constituido por una mezcla de hidrocarburos.

Procede de la descomposición de grandes acumulaciones de algas y animales que quedaron enterrados en los fondos marinos y que, con el paso del tiempo, han sido sometidos a grandes presiones y temperaturas.

El petróleo extraído de un yacimiento debe someterse a una serie de procesos para poder ser utilizado. El conjunto de estos procesos se llama refinamiento del petróleo. De este modo se obtienen derivados como la gasolina, el gasóleo, el alquitrán y el fuel.

Se utiliza, principalmente, como combustible en los medios de transporte y en calefacción. De él procede la mayor parte de la energía utilizada actualmente en el mundo. Además, es una importante materia prima para la obtención de otros productos, como medicamentos, plásticos, fibras sintéticas, etc.

### • Ventajas:

- Gran versatilidad para obtener diferentes derivados.
- Buen rendimiento energético.
- Su extracción y su explotación son relativamente económicas.

### • Inconvenientes:

- Sus reservas son escasas, lo que nos obliga a buscar un sustituto a corto plazo.
- Los gases que desprende su combustión contaminan la atmósfera (provocan efecto invernadero y lluvia ácida).

## Gas natural

Es una mezcla de gases compuesta, principalmente, por metano (CH<sub>4</sub>) y otros hidrocarburos que aparece en forma de depósitos de gas en

determinados lugares del subsuelo terrestre, a menudo asociados a los yacimientos de petróleo.

Su principal uso es el doméstico, aunque también se utiliza en algunos medios de transporte y en la industria.

### • Ventajas:

- Alto rendimiento energético, debido a su gran poder calorífico.
- Es menos contaminante que el carbón y el petróleo.

### • Inconvenientes:

- Sus reservas son limitadas.
- Su combustión desprende CO<sub>2</sub>, un gas que contribuye a aumentar el efecto invernadero.



<http://goo.gl/1REO34>

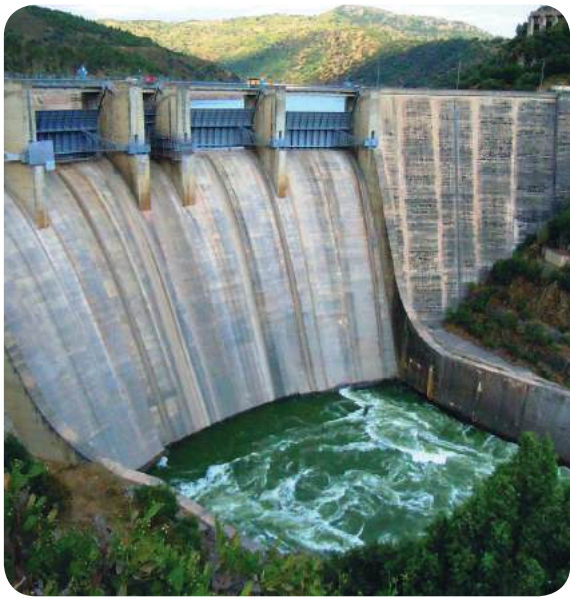
## Y TAMBIÉN:

El carbón, el petróleo y el gas natural se denominan comúnmente **combustibles fósiles** por ser el producto de la descomposición de restos animales y vegetales sepultados hace millones de años entre los sedimentos de la corteza terrestre.

7. **Forma** grupos de trabajo. Cada grupo buscará información sobre uno de estos temas, elaborará un informe y lo expondrá en clase.
  - Los productos derivados del petróleo: su uso actual.
  - El importante papel desempeñado por el carbón en la Revolución Industrial.
  - Las reacciones de fisión nuclear y la radiactividad: su naturaleza y sus riesgos para los seres vivos.
8. **Confeciona** una tabla-resumen con las fuentes de energía no renovables e **indica** las ventajas y los inconvenientes de cada una.

Actividades

Prohibida su reproducción



ecocsi/VD1sG6



http://ecocsi/4837z

## 2.2. Fuentes de energía renovables

Las fuentes de energía renovables son aquellas que pueden considerarse inagotables debido a que se renuevan de forma continua.

De este tipo son el agua embalsada, el agua del mar, el Sol, el viento, la biomasa y el calor interno de la Tierra.

### El agua embalsada

El agua retenida en los embalses o pantanos tiene **energía potencial gravitatoria**. Al abrir las compuertas, el agua desciende a un nivel inferior y esta energía se convierte en energía cinética. Esta forma de energía se transforma finalmente en energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas.

En una **central hidroeléctrica** se hace pasar el agua por una turbina hidráulica, la cual transmite la energía a un alternador que la convierte en energía eléctrica.

#### • Ventajas:

- Inagotable.
- Limpia (no contamina ni genera residuos).
- Alto rendimiento energético.

#### • Inconvenientes:

- La construcción de embalses genera un impacto considerable en el medio, como la inundación de territorios o la pérdida de hábitats naturales.

### El agua del mar

Puede obtenerse energía del mar de dos formas. Por un lado, podemos aprovechar la diferencia de nivel del agua que se produce entre la bajamar y la pleamar y, por otro, es posible utilizar el movimiento de las olas.

Las **centrales maremotrices** aprovechan las mareas para producir electricidad y las **centrales olamotrices** aprovechan el oleaje. En ambas, el movimiento del agua del mar acciona unas turbinas que producen electricidad.

#### • Ventajas:

- Inagotable.
- No contaminante.

#### • Inconvenientes:

- Solo puede explotarse en algunos enclaves costeros específicos.
- Las instalaciones para aprovechar la energía maremotriz son grandes y costosas.

9. ¿Qué significa que una fuente de energía es renovable?
  - ¿Pueden considerarse el carbón, el petróleo y el gas natural fuentes de energía renovables? ¿Por qué?
10. **Explica** brevemente la diferencia entre las centrales maremotrices y olamotrices. ¿Cuál es la forma de energía primaria que se utiliza en cada una de ellas?

Actividades

## El Sol

La radiación electromagnética que nos llega del Sol tiene **energías térmica y radiante**.

La energía solar puede aprovecharse de dos maneras:

Las **placas solares de tipo térmico** instaladas en muchos edificios absorben el calor de las radiaciones solares y lo transmiten a un circuito de agua caliente que se usa para calefacción.

Las **placas solares de tipo fotovoltaico**, o células solares, convierten directamente la energía solar en electricidad. Se emplean, por ejemplo, en los satélites artificiales.

- **Ventajas:**
  - Inagotable.
  - Limpia (no contamina ni genera residuos).
- **Inconvenientes:**
  - Rendimiento energético bajo.
  - Explotación intermitente, pues depende de las condiciones climatológicas.



## El viento

La **energía cinética** del viento se ha utilizado durante siglos como fuente de energía para impulsar las embarcaciones de vela y para moler grano en los molinos de viento.

En la actualidad, se usa para producir energía eléctrica en las centrales eólicas.

Una **central eólica** está formada por un grupo numeroso de aerogeneradores.

Estos dispositivos están constituidos por unas aspas que giran impulsadas por el viento y transmiten la energía a un generador eléctrico.

Actualmente, es una de las fuentes de energía que ha experimentado mayor auge y cuenta con un excelente potencial de desarrollo.

- **Ventajas:**
  - Inagotable.
  - No contaminante.
- **Inconvenientes:**
  - Rendimiento energético bajo.
  - Explotación intermitente, pues depende de la regularidad con que sopla el viento.



11. Seguramente habrás observado alguna vez la existencia de placas solares en tejados de edificios, piscinas u otras instalaciones.
  - ¿De qué tipo son estas placas solares? **Explica** brevemente cómo funcionan.
12. **Busca** información en Internet sobre los parques eólicos existentes en tu país.
  - **Averigua** su ubicación y algunos datos técnicos como el número de aerogeneradores, la velocidad media del viento, la potencia generada.
  - **Redacta** un informe y exponlo en clase.

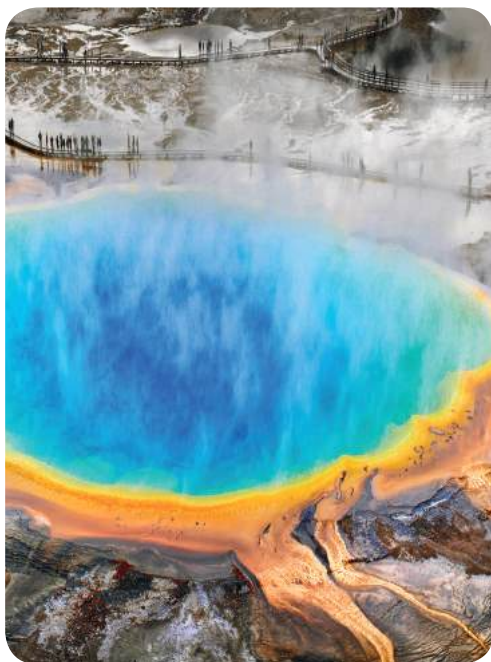


## Y TAMBIÉN:

### Energías tradicionales y energías alternativas

Desde los inicios del siglo XIX, se generalizó la producción de energía a partir de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural). De ahí que también reciban el nombre de **energías tradicionales**.

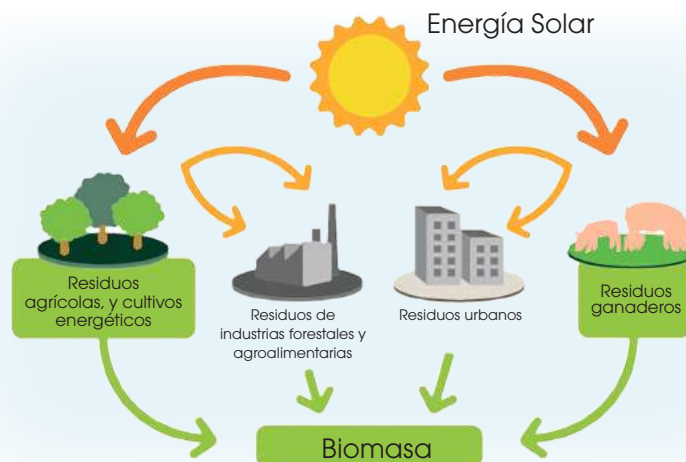
A principios del siglo XX, se concentró la producción de electricidad en las centrales hidráulicas. En 1954 comenzó a utilizarse la energía nuclear, pero no fue hasta la década de los setenta cuando empezaron a investigarse otras fuentes de energía, debido fundamentalmente a la crisis del petróleo y a los problemas ambientales derivados del uso de las fuentes tradicionales. De ahí que las fuentes de energía renovables también reciban el nombre de fuentes de energía alternativas (el agua, el Sol, el viento, etc).



- Castle Geyser, Parque Nacional de Yellowstone (EE.UU.).

## La biomasa

La **biomasa** es el conjunto de la materia orgánica no fosilizada. Su origen puede ser los residuos vegetales, animales, de industrias agrícolas o la fracción orgánica de los residuos domésticos.



De la biomasa puede obtenerse energía aprovechable por combustión directa, como se hace, por ejemplo, con la madera, o bien por transformación en combustibles, como biogás o biodiésel, mediante procesos como la gasificación, la descomposición o la fermentación. Estos biocombustibles son empleados para uso doméstico y para los medios de transporte.

- **Ventajas:**
  - Se renueva de forma continua / Genera únicamente residuos biodegradables.
- **Inconvenientes:**
  - Su rendimiento energético es menor que el de los combustibles fósiles.
  - Su combustión produce  $\text{CO}_2$ , un gas que contribuye a aumentar el efecto invernadero.

## El calor interno de la Tierra

Llamamos **energía geotérmica** a la energía térmica que procede del interior de la Tierra. Esta energía se manifiesta, especialmente, en zonas volcánicas. Sale al exterior, por ejemplo, en forma de gases a altas temperaturas en las fumarolas, como vapor o agua hirviendo en los géiseres, o como agua caliente en las fuentes termales.

Actualmente, este tipo de energía se utiliza para calefacción y usos agrícolas.

- **Ventajas:**
  - Se renueva de forma continua / Apenas genera residuos.
- **Inconvenientes:**
  - Su aprovechamiento está limitado a determinadas zonas geográficas en las que se den temperaturas muy elevadas a poca profundidad.

## 3. EL USO SOSTENIBLE DE LA ENERGÍA

Hoy por hoy, el consumo de energía se basa en la utilización de los combustibles fósiles y en la generación de energía eléctrica. Ahora bien, debemos efectuar un consumo racional de los recursos naturales.

Llamamos desarrollo sostenible a aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras.

A fin de conseguir un desarrollo sostenible debemos usar, en la medida de lo posible, las fuentes de energía renovables para preservar los recursos energéticos y reducir la contaminación ambiental. Asimismo, debemos poner en práctica medidas para el ahorro de energía, especialmente, en el transporte y la vida doméstica.

### 3.1. Ahorro energético

Algunas de las medidas de **ahorro energético** con las que podemos contribuir son:

- Usar la bicicleta como medio de transporte y aumentar el uso de transporte público.
- Usar el automóvil solo cuando sea imprescindible y circular a velocidad moderada. A partir de 90 km/h, el consumo de combustible aumenta un 10 %.
- Aprovechar al máximo la luz del Sol subiendo las persianas y descorriendo las cortinas, apagar las luces cuando no sean necesarias y usar bombillas de bajo consumo.
- Apagar los aparatos eléctricos (televisor, radio, computadora) cuando no se utilicen.
- Mantener la calefacción o el aire acondicionado a una temperatura moderada.
- Limitar el consumo de agua. Para ello, se recomienda cerrar el grifo cuando sea necesario, llenar la lavadora y el lavavajillas, etc.

### 3.2. Reciclaje

Consiste en la recogida y el reprocesamiento de determinados productos (papel, vidrio, plástico, metales...) que pueden volver a ser utilizados, ya sea con el mismo fin o con fines distintos. Reciclar contribuye a ahorrar energía, ya que reduce el consumo necesario para fabricar nuevos productos.

#### Y TAMBIÉN:



La fórmula de las tres R nos recuerda qué hacer para proteger el medio ambiente de los residuos sólidos:

#### **Reducir**

(la producción de residuos).

#### **Reutilizar**

(un producto varias veces).

#### **Reciclar**

(los productos utilizados).

#### TEN EN CUENTA QUE:



La producción, el transporte y el consumo de energía, así como los efectos que este consumo produce en el medio ambiente, son tan importantes que ha sido necesario el desarrollo de una serie de tratados internacionales que regulen todos estos aspectos, como el Plan de acción para la eficiencia energética de la UE, cuyo objetivo es reducir el consumo de energía en un 20 % hasta el año 2020, y la Estrategia comunitaria para limitar el cambio climático, que tiene por objetivo luchar contra el cambio climático reduciendo en un 30 % las emisiones de gases de efecto invernadero, de los países de la UE, hasta el año 2020.

#### Actividades

13. **Elabora** una lista de diez medidas que puedas adoptar en tu vida cotidiana para ahorrar energía. Por ejemplo:

- Utilizar agua caliente de forma responsable.
- Utilizar electrodomésticos eficientes.

14. **Clasifica** los contenedores de residuos por el color. **Indica** el tipo de residuos que contiene cada uno y **explica** brevemente cómo se aprovechan estos residuos mediante el reciclaje.

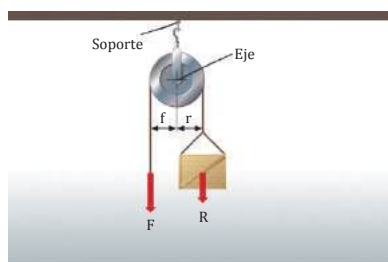
15. **Elabora** una lista de diez medidas que puedas adoptar en tu vida cotidiana para ahorrar energía.

16. **Relaciona** la explotación de las fuentes de energía con el desarrollo humano.

**Explica** qué influencia ha tenido el empleo de las fuentes de energía en los siguientes campos: el transporte, la vivienda, la alimentación, la salud y la difusión de la cultura.

## 4. MÁQUINAS MECÁNICAS

El ser humano ha ideado a lo largo de la historia un gran número de aparatos mecánicos



Polea.

Una **máquina mecánica** es un dispositivo que recibe el trabajo procedente de una fuerza externa y lo transmite a algún cuerpo.

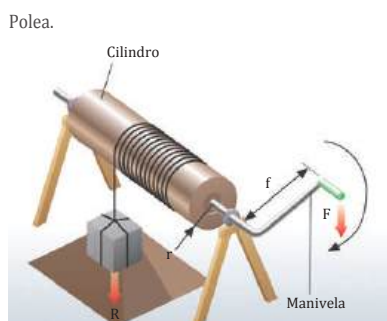
Algunas son muy sencillas, como la palanca. Otras son más sofisticadas, como una bicicleta o una grúa. Todas funcionan según el esquema de la derecha.

Sobre la máquina se aplica una **fuerza motriz (F)** que produce un desplazamiento de alguna de sus partes y realiza, por tanto, un **trabajo motor ( $W_m$ )**. Al mismo tiempo, otra parte de la máquina ejerce una fuerza, llamada **fuerza resistente (R)**, que se opone al desplazamiento. Al vencer esta fuerza se obtiene un **trabajo útil ( $W_u$ )**.

Se cumple la **ley general de las máquinas simples**:

El producto de la fuerza motriz por su brazo es igual al producto de la fuerza resistente por su brazo.

$$F \cdot f = R \cdot r$$



Polea.

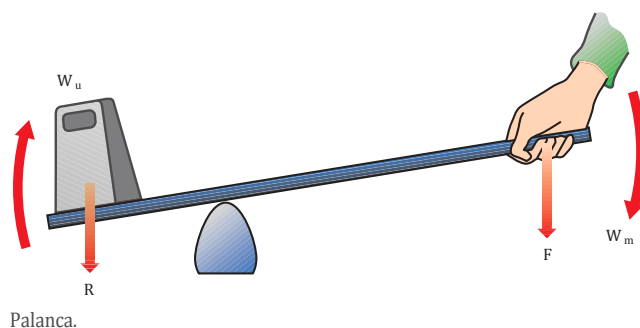
Esta ley expresa que podemos levantar un gran peso (R) aplicando una pequeña fuerza (F) a una gran distancia (f) del punto de apoyo.

### 4.1. Rendimiento de las máquinas mecánicas

En la práctica, no toda la energía que se suministra a la máquina se recupera en forma de trabajo útil. El trabajo motor se convierte en dos: el **trabajo útil ( $W_u$ )**, que se utiliza para vencer la fuerza resistente y el **trabajo pasivo ( $W_p$ )**, que se emplea para vencer las fuerzas de rozamiento y se pierde en forma de calor.

El rendimiento de una máquina mecánica es el cociente entre el trabajo que produce ( $W_u$ ) y el trabajo que se le suministra ( $W_m$ ).

$$r = \frac{W_u}{W_m} \quad 0 < r < 1$$



Palanca.

## Polea

Una polea es una rueda que puede girar alrededor de un eje, con un canal en su contorno por el que pasa una cuerda. En una polea la fuerza realizada para levantar un peso es igual al peso a vencer; su utilidad reside en la comodidad del esfuerzo

En la **polea móvil**, la fuerza a aplicar es **la mitad del peso**.

Por lo tanto, para alzar un peso de 50 N tenemos que realizar una fuerza de 25 N, pero tendremos que tirar de 2 m de cuerda para que el peso suba 1 m.

Si una polea móvil la combinamos con una fija, el conjunto recibe el nombre de aparejo. Cuando se quieren mover grandes pesos, se utiliza una asociación de poleas fijas y móviles que recibe el nombre de polea múltiple o polipasto.

## Importancia del plano inclinado en las máquinas

El plano inclinado es una superficie inclinada un cierto ángulo sobre la horizontal, utilizada para levantar grandes pesos con poco esfuerzo. En esta máquina simple no se realizan giros. En particular una cuña y un hacha son planos inclinados.

La ley de las máquinas simples para el plano inclinado es:

$$F \cdot l = P \cdot h$$

F es la fuerza que hacemos para subir el peso

l es la longitud del plano inclinado

P es el peso del cuerpo que pretendemos subir

h es la altura a donde queremos subir el cuerpo

El producto de la fuerza motriz ( $F_m$ ) por la longitud del plano ( $l$ ) debe ser igual al producto de la resistencia ( $P$ ) por la altura ( $h$ ) del mismo.

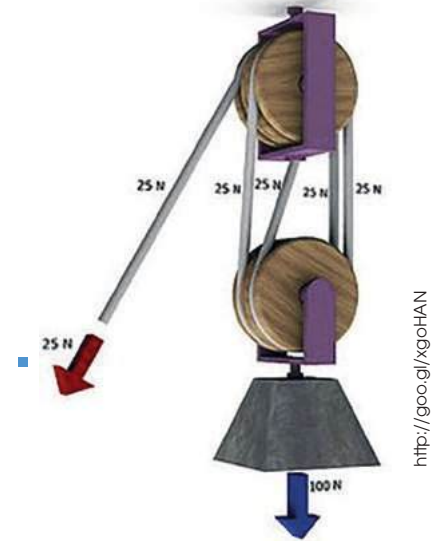
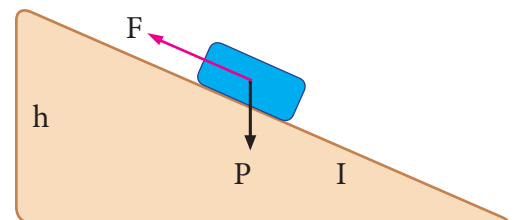


Fig. 2.

Polea compuesta



### Ejemplo 4

Hallar el valor de la fuerza motriz necesaria para mantener un objeto que pesa 10 kg en equilibrio sobre un plano inclinado de 5 m de longitud y 2 m de altura.

$$F = \frac{P \cdot h}{l} = \frac{10 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 4 \text{ kg}$$

# Problemas resueltos



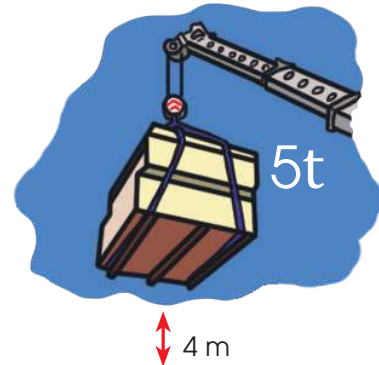
En la unidad hemos analizado distintas fuentes de energía, y cada una de ellas tiene un coste distinto. Por otra parte, también hemos estudiado cómo determinar el trabajo de una fuerza. Estos ejercicios nos permitirán practicar el cálculo de ambas magnitudes.

## A

**Determina** el trabajo que realiza una grúa para elevar con velocidad constante un contenedor de 5 toneladas hasta una altura de 4 metros.

Solución

- Datos:  $m = 5 \text{ t} = 5\,000 \text{ kg}$        $d = 4 \text{ m}$   
 La fuerza que ejerce la grúa es igual al peso del contenedor.  
 $F = p = m \cdot g$        $F = 5\,000 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 49\,000 \text{ N}$   
 — Calculamos el trabajo que realiza la grúa.  
 $W = F \cdot d$        $W = 49\,000 \text{ N} \cdot 4 \text{ m} = 196\,000 \text{ J}$



1. ¿Qué trabajo realizará el motor de un ascensor de 950 kg, cuando ejerce la fuerza necesaria para que suba tres pisos con velocidad constante, si cada piso tiene una altura de 3 m y no se tiene en cuenta la fuerza de rozamiento?
2. **Calcula** el trabajo realizado al arrastrar un baúl con una cuerda, ejerciendo una fuerza horizontal constante de 150 N para que se desplace 20 m en línea recta.

## B

Esta tabla recoge los precios de distintos recursos energéticos y sus calores de combustión.

- **Deduce** el coste unitario de la energía producida por cada recurso. (Densidad de la gasolina: 0,72 kg/L)

Fuente de energía	Precio	Calor de combustión
Electricidad	0,142 \$/kW · h	—
Gasolina	1,496 \$/L	$4,7 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}$
Gas natural	0,051 \$/kW · h	$5,5 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}$
Carbón	76 \$/tonelada	$2,8 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}$

Nota: los precios de las distintas energías dependen en alto grado de la zona geográfica y de la variedad del recurso, y fluctúan ampliamente en el tiempo.

Para determinar lo que cuesta un kilojulio de energía aplicamos los factores de conversión correspondientes a los precios de cada fuente de energía. Supondremos que la combustión es completa y el rendimiento es del 100 %.

Para determinar lo que cuesta un kilojulio de energía aplicamos los factores de conversión correspondientes a los precios de cada fuente de energía. Supondremos que la combustión es completa y el rendimiento es del 100 %.

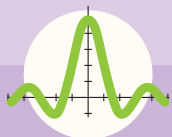
$$\text{Electricidad: } 0,142 \text{ \$/kW} \cdot \text{h} \cdot \frac{1 \text{ kW} \cdot \text{h}}{3,6 \cdot 10^3 \text{ kJ}} = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ \$/kJ}$$

$$\text{Gasolina: } 1,496 \text{ \$/L} \cdot \frac{1 \text{ L}}{0,72 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{4,7 \cdot 10^4 \text{ kJ}} = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ \$/kJ}$$

$$\text{Gas natural: } 0,051 \text{ \$/kW} \cdot \text{h} \cdot \frac{1 \text{ kW} \cdot \text{h}}{3,6 \cdot 10^3 \text{ kJ}} = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ \$/kJ}$$

$$\text{Carbón: } 76 \text{ \$/t} \cdot \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{2,8 \cdot 10^4 \text{ kJ}} = 0,27 \cdot 10^{-5} \text{ \$/kJ}$$

3. Para cierto tipo de biomasa se ha estimado un poder calorífico de 3 200 kcal/kg. Si el precio del combustible (recogida 1 tratamiento) es, aproximadamente, 0,08 \$/kg, **calcula** el coste de cada kilojulio producido. (Supón un rendimiento del 100 % en la combustión).
4. El orujo de aceituna es el residuo concentrado de este fruto que resulta de la extracción del aceite. Actualmente se está investigando su utilización como biocombustible, dado su importante poder calorífico, que es de  $1,78 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}$ . Si el precio del combustible (recogida 1 tratamiento) es, aproximadamente, 0,04 \$/kg, **analiza** su rentabilidad como combustible.



# Ejercicios y problemas

## 1 La energía y sus propiedades

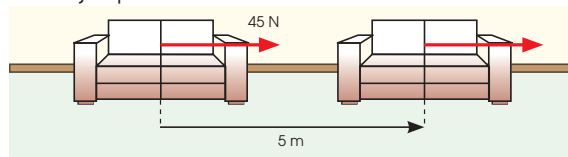
- Una bola rueda sobre la superficie de una mesa situada a 1 m del suelo. ¿Qué forma de energía tiene la bola?
- Pon** un ejemplo en el que se manifieste cada una de estas formas de energía: a. Energía mecánica; b. Energía térmica; c. Energía nuclear.
- Una persona pedalea en bicicleta por la noche con los faros encendidos mientras asciende una empinada cuesta.
  - **Indica** todas las formas de energía que están presentes en algún momento del proceso.
- Un automovilista enciende el motor de su vehículo, circula durante unos metros y frena, repentinamente, hasta detener el automóvil.
  - **Indica** todas las formas de energía que están presentes en algún momento del proceso.
- Es un gesto habitual frotarse las manos cuando tenemos frío. ¿Qué transformación energética tiene lugar?
- Como sabrás, el *skate* es un deporte que consiste en deslizarse sobre una tabla con ruedas y, a su vez, poder realizar diversidad de piruetas y saltos. **Explica**, basándote en el principio de conservación de la energía mecánica, cómo varían las energías potencial y cinética de un *skater*, cuando va descendiendo por una pista en forma de U, da un salto, cae y continúa de nuevo por el lado opuesto de la pista, llegando hasta el punto más alto. Supón que la fuerza de rozamiento es despreciable.

<http://goo.gl/ksZkU>



- En la unidad hemos estudiado que la energía térmica es de baja calidad, o degradada, en comparación con otras formas de energía como la eléctrica. Sin embargo, para nosotros son muy útiles, por ejemplo, un radiador y una cocina. ¿Por qué decimos, pues, que la energía térmica es una energía degradada?
- Calcula** el rendimiento de una combustión si de  $1,5 \cdot 10^5$  J solo se aprovechan  $5,7 \cdot 10^4$  J. Exprésalo en tanto por ciento.

- Para trasladar una caja llena de libros una distancia de 15 m en línea recta y con velocidad constante, hay que ejercer una fuerza que contrarreste la fuerza de rozamiento entre la caja y el suelo. Si esta fuerza es de 32,34 N, **calcula** el trabajo realizado.
- Define** energía y, a continuación, **analiza** la situación: una maceta situada en la repisa de una ventana, a cierta altura, no experimenta ninguna transformación ni tampoco produce transformaciones en otros cuerpos. Sin embargo, ¿dirías que tiene energía? ¿Por qué?
- La energía que poseen los cuerpos o que se transfiere entre ellos se debe a distintas razones: movimiento, posición que ocupa, temperatura... ¿Cuál es el nombre de la forma que adopta la energía en los tres casos mencionados?
- Determina** el tipo de energía que se manifiesta en las situaciones que se indican a continuación:
  - Al hablar por un teléfono celular.
  - Al subir o bajar una persiana de cinta.
  - Al encender una cocina de gas.
  - Al accionar un interruptor para poner en funcionamiento un aparato eléctrico o encender una lámpara.
- El rendimiento de una caldera es del 48 %. ¿Qué energía útil se obtendrá si se aportan  $4,5 \cdot 10^5$  J?
- Un chico que empuja un sofá con una fuerza horizontal y constante de 45 N, lo arrastra 5 m. **Calcula** el trabajo que ha realizado.



- Casi todas las formas de energía que conocemos proceden directa o indirectamente de la energía solar.
  - ¿Qué forma de energía asociamos a la luz visible?
  - ¿Qué forma de energía tiene la pila? ¿En qué otras formas de energía se transforma la energía de la pila?

## 2 Las fuentes de energía

- ¿Qué inconvenientes conlleva la dependencia de las fuentes de energía no renovables?
  - **Cita** algunas consecuencias medioambientales de la combustión del carbón y el petróleo.

17. Las centrales hidroeléctricas, eólicas, maremotrices y geotérmicas deben instalarse en lugares determinados para que su funcionamiento sea idóneo. **Explica** qué características deben cumplir estos emplazamientos.
18. Casi todas las formas de energía que conocemos proceden directa o indirectamente de la energía solar.
- La energía eólica, ¿de qué manera procede de la energía solar? ¿Y los combustibles fósiles?
19. Cada día en el mundo se consume una gran cantidad de energía que procede de diferentes fuentes: unas renovables y otras no renovables. A partir de lo que ya sabes y de la información que consigas en revistas, libros e Internet, **valora** las ventajas y los inconvenientes de las fuentes de energía renovables frente a las no renovables.
20. Uno de los inconvenientes de la energía solar es la gran extensión que deben ocupar las placas fotovoltaicas para producir una cantidad importante de energía.
- En un día soleado, el Sol irradia alrededor de  $1 \text{ kW/m}^2$  a la superficie de la Tierra. Si un panel fotovoltaico tiene una eficiencia de un 25 %, **calcula** el área que debería ocupar para proveer de forma autónoma a un automóvil que consume una potencia de 40 kW.
21. **Formen** grupos. **Busquen** información sobre la importancia de las centrales nucleares y sus peligros: qué tanto por ciento de energía que se consume en la actualidad procede de ellas, qué tipo de residuos genera y qué se hace con ellos. **Elaboren** un informe con la información obtenida.
- Una vez convenientemente documentados sobre el tema de la importancia y los peligros de la energía nuclear, **reflexiona** sobre si es conveniente o no la instalación de centrales nucleares. **Organiza** un debate en clase. A su término, **elabora** un resumen con los argumentos que se han expuesto.

### 3 El uso sostenible de la energía

22. **Lee** atentamente el siguiente texto y **responde** a las cuestiones que se plantean.
- «El sector del transporte consume un 30 % de toda la energía utilizada en el mundo. Esta cifra se eleva en la Unión Europea al 32 % y en España al 39 %. Actualmente se consumen diariamente 83,7 millones de barriles de petróleo en todo el mundo y

las estimaciones indican que esta cifra aumentará hasta llegar a los 112 millones de barriles diarios en 2020. Para hacerse una idea de la magnitud de esa demanda nada mejor que un ejemplo práctico: en septiembre de 2005, el gobierno británico dio luz verde al desarrollo del mayor yacimiento descubierto en su territorio durante la última década. Pues bien, ese gigantesco depósito que fue anunciado a bombo y platillo, será capaz de suministrar el crudo que consume la humanidad durante 5 días y medio. Cada año se utiliza una cantidad de petróleo cuatro veces superior a la que se descubre y así es imposible que salgan las cuentas (...).».

Extraído del documento Biocarburantes en el transporte publicado en la página web del IDAE (<http://www.idae.es>).

- ¿Qué importancia tiene el sector del transporte dentro del consumo energético de un país? ¿Cómo se prevé que evolucione en los próximos años?
23. **Explica** en qué consiste el reciclaje y qué ventajas comporta.
- Pon ejemplos de productos que puedan ser fabricados con materiales reciclados.
24. **Busca** en Internet las características de las políticas energéticas de tu país.
- Con la información que hayas obtenido, redacta un resumen en el que se indique si apuesta por fuentes de energía renovables o no renovables, qué fuentes de energía tienen más relevancia, etc.

### 4 Algo más...

25. La unidad de energía en el SI es el julio (J), pero existen otras, como la caloría (cal), el kilovatio-hora (kW·h), la tonelada equivalente de petróleo (tep), la termia (th), el ergio (erg) o el electronvoltio (eV). **Busca** las equivalencias entre dichas unidades en el enlace <http://goo.gl/5qXfFL> y **completa** en tu cuaderno la tabla siguiente:

	J	cal	Kw·h	tep	th	erg
J						
cal						
kW·h						
tep						
Th						
erg						

26. **Cita** los diferentes tipos de energía que existen y **pon** un ejemplo en el que la energía se transforme de un tipo a otro.

27. **Indica** si es verdadero o falso:

- Siempre que ejercemos una fuerza, realizamos un trabajo.
- El valor del trabajo es independiente de la dirección del desplazamiento del cuerpo.

28. ¿Es posible que la energía cinética sea negativa? ¿Es posible que lo sea la energía potencial gravitatoria? En caso afirmativo, **indica** un ejemplo.

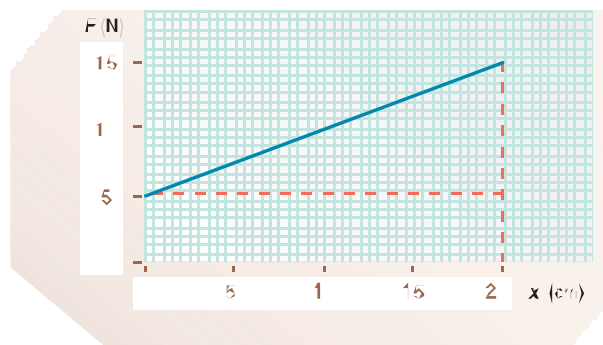
29. ¿Qué es una fuerza conservativa? **Pon** algún ejemplo.

30. ¿Es posible que la diferencia de potencial entre dos puntos del espacio sea igual a cero? En caso afirmativo, **indica** un ejemplo.

31. **Calcula** el trabajo realizado por una persona que arrastra una caja por el suelo a lo largo de una distancia de 7 m, con una fuerza constante de 175 N, si: a. la fuerza se aplica en la misma dirección y sentido que el desplazamiento; b. la fuerza forma un ángulo de  $25^\circ$  con el desplazamiento.

32. Un armario de 8 kg es desplazado 3 m por acción de una fuerza horizontal  $F = 40$  N. Si el coeficiente de rozamiento es igual a 0,2, **calcula** el trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan sobre el armario y el trabajo de la fuerza resultante.

33. La gráfica representa el módulo de la fuerza que actúa sobre un cuerpo en función de su posición. **Calcula** el trabajo de esta fuerza cuando el cuerpo se desplaza desde  $x = 0$  cm hasta  $x = 20$  cm.



34. Un cuerpo de 4 kg cae desde una altura de 40 m por un plano inclinado  $30^\circ$  con respecto a la horizontal. Si no existe rozamiento, **calcula**: a. la energía mecánica del cuerpo en el instante inicial; b. la velocidad del cuerpo a una altura de 10 m; c. la velocidad del cuerpo al llegar al suelo.

35. **Calcula** la potencia desarrollada en los siguientes casos: a. una grúa eleva 300 kg a una altura de 10 m en 10 s; b. un ascensor eleva 300 kg a una velocidad constante de 30 metros por minuto.

36. Para levantar un cuerpo de 5 kg de masa utilizamos como palanca una barra rígida de 2 m de longitud. Si debemos aplicar una fuerza de 20 N en un extremo de la barra, **determina**: a. la distancia entre este extremo y el punto de apoyo; b. la ventaja mecánica.

37. Se deja caer un cuerpo de 6 kg de masa por un plano inclinado  $30^\circ$  con respecto a la horizontal desde una altura de 6 m. Si el coeficiente de rozamiento cinético entre el cuerpo y el plano es igual a 0,3, **calcula**: a. la energía mecánica del cuerpo en el instante inicial; b. la energía perdida en el descenso a causa del rozamiento; c. la velocidad del cuerpo al llegar al final del plano.

38. Sean dos cargas eléctricas puntuales  $Q_1$  y  $Q_2$  situadas en el vacío a una distancia de 1 m y un punto P situado en la recta que une ambas cargas, entre ellas, y a una distancia de las cargas  $d_1$  y  $d_2$  respectivamente. Con la ayuda de una hoja de cálculo:

- Programa** el potencial eléctrico que crea cada una de las cargas en el punto P.
- Asigna** diferentes valores y signos a las cargas y varía la posición del punto P sobre la recta para observar cómo cambia el potencial eléctrico. ¿Puedes encontrar algún caso en que se anule el potencial eléctrico?

39. **Recoge** información sobre la potencia de cada uno de los electrodomésticos de un hogar y **haz** un cálculo de la energía que se consume en un mes. Preséntalo en una hoja de cálculo y **realiza** distintas modificaciones que representen un ahorro.

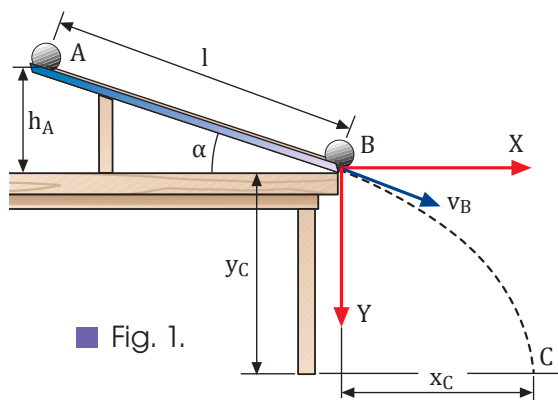


# CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA EN UN PLANO INCLINADO

## INVESTIGUEMOS:

Si se deja caer una bola de masa  $m$ , inicialmente en reposo, desde el extremo superior de un plano inclinado (punto A), la bola se desliza por el plano inclinado y gana velocidad a medida que pierde altura.

Si suponemos que el trabajo de la fuerza de rozamiento es despreciable, la energía mecánica se conserva. Así, al pasar del punto A al punto B, tenemos:



■ Fig. 1.

- Si se desprecia el rozamiento, la bola se desliza; para que la bola ruede es imprescindible el rozamiento

$$E_{cA} + E_{pA} = E_{cB} + E_{pB}$$

$$0 + E_{pA} = E_{cB} + 0$$

(si el origen de energía potencial es el punto B)

$$mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 \quad (1)$$

Cuando llega al extremo inferior del plano inclinado (punto B), la bola inicia un movimiento parabólico hasta impactar con el suelo en el punto C. De la posición del punto de impacto ( $x_c, y_c$ ), se puede deducir el valor de la velocidad en el punto B ( $v_B$ ). En efecto, tomando el origen de coordenadas en B y el origen del tiempo en el instante en el que la bola pasa por B, se cumple:

$$x_c = v_{Bx} t \quad v_{Bx} = v_B \cos \alpha \quad (v_{Bx} \text{ es la componente horizontal de } v_B)$$

$$y_c = v_{By} t + \frac{1}{2} g t^2 \quad v_{By} = v_B \operatorname{sen} \alpha \quad (v_{By} \text{ es la componente vertical de } v_B)$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene la expresión de  $v_B$  en función de  $x_c, y_c$ , el ángulo  $\alpha$  y  $g$ :

$$v_B = \frac{x_c}{\cos \alpha} = \sqrt{\frac{g}{2(y_c - \operatorname{tg} \alpha x_c)}}$$

## OBJETIVOS:

En esta experiencia comprobaremos que en el caso de una bola que baja por un plano inclinado sin frotamiento se conserva la energía mecánica. Determinaremos el valor de la velocidad adquirida a partir del alcance de la parábola que describe la bola al abandonar el plano inclinado.

**MATERIALES:**

- Bola de acero
- Carril metálico liso y soporte para apoyar el carril
- Papel carbón
- Regla o cinta métrica

**PROCESOS:**

1. **Prepara** el montaje de la figura 1. **Elige** una inclinación de unos  $30^\circ$  y **asegura** la posición para que se mantenga fija. Marca los puntos A y B. **Mide** las distancias  $h_A$ ,  $y_C$  y  $l$ , y **calcula** el ángulo  $\alpha$  ( $\alpha = \text{arc sen}(h_A/l)$ ). **Anota** los datos en la tabla 1. **Pega** en el suelo una hoja blanca y, encima de ella, otra de papel carbón, en la zona donde creas que puede impactar la bola.
2. **Coloca** la bola en el punto A y déjala caer sin empujarla. Cuando llegue al suelo, **marca** el punto de impacto C y **mide** la distancia  $x_c$ . **Calcula** la velocidad en el punto B,  $v_B$ , y la energía mecánica en los puntos A y B,  $E_A$  y  $E_B$ . **Anota** estos valores en la tabla 1.
3. **Repite** todos los pasos anteriores para diversas inclinaciones (diferentes valores de  $h_A$ ) y **completa** la tabla 1.

$h_A$ (cm)	$l$ (cm)	$\alpha = \text{arc sen}(h_A/l)$	$x_c$ (cm)	$y_c$ (cm)	$v_B$ (cm/s)	$E_A = m g h_A$ (mJ)	$E_B = \frac{1}{2} m v_B^2$ (mJ)

■ Tabla 1.

**CUESTIONES:**

- a. ¿Se cumple el principio de conservación de la energía mecánica? Señala las posibles fuentes de errores en el procedimiento seguido.
- b. ¿Para qué valores del ángulo  $\alpha$  la variación de energía mecánica entre los puntos A y B se aproxima más al valor teórico 0? ¿A qué piensas que es debido?
- c. Con los datos de que dispones, ¿cómo evaluarías la velocidad que tiene la bola en el momento de impactar con el suelo?





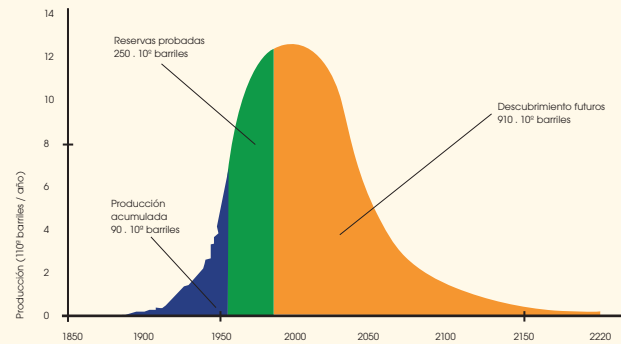
SENTIDO CRÍTICO

## EL CENIT DEL PETRÓLEO

El petróleo es una fuente de energía no renovable, lo que significa que se acabará algún día.

En la teoría del pico de Hubbert, el geofísico americano Marion King Hubbert predijo que la producción mundial de petróleo alcanzaría su punto máximo y después descendería casi tan rápido como había crecido.

Este pico debería haberse producido alrededor del año 2010; aunque lo importante no es la fecha exacta, sino la necesidad de invertir en la obtención de energía con independencia del petróleo.



SOCIEDAD

## HONGOS PARA PRODUCIR BIOCOMBUSTIBLES

Diversos equipos de científicos en todo el mundo investigan la producción de biocombustibles a partir de los hongos. Investigadores de la universidad estadounidense del Estado de Montana han conseguido generar un combustible similar al biodiésel utilizado en los vehículos a partir del hongo llamado *Gliocladium roseum*, originario de la selva tropical patagónica. Además, este hongo tiene importantes ventajas medioambientales, pues así como otros vegetales productores de biocombustible deben ser procesados primero para obtener celulosa, el hongo asimila la celulosa de los árboles de su hábitat, que será la que, posteriormente, se transforma en biocombustible.



■ *Gliocladium roseum*.

NOTICIA

## LOS RESIDUOS NUCLEARES



Los residuos nucleares producidos en la utilización de material radiactivo con fines médicos, industriales o de investigación y en las centrales nucleares son uno de los principales problemas de la energía nuclear.

Si estos residuos no se tratan debidamente, resultan altamente peligrosos para la población y el medio ambiente.

Los protocolos para el tratamiento de los residuos nucleares dependen de su nivel de actividad radiactiva.

— Residuos nucleares de media y baja actividad (herramientas, ropa, piezas de repuesto, etc.).

Con un tratamiento se separan los elementos radiactivos que contienen y se depositan en bidones de acero solidificándolos con alquitrán, resinas o cemento, en el caso de media actividad, y prensándolos y mezclándolos con hormigón, en el de baja actividad. En España, los bidones se trasladan al centro de almacenamiento de El Cabril (Córdoba).

— Residuos de alta actividad (restos de las varillas de uranio que se usan de combustible, de las sustancias del reactor, etc.).

A la espera de la construcción de un almacén temporal centralizado (ATC) desvinculado de las centrales nucleares, deben ser almacenados temporalmente dentro de cada central, en unas piscinas con agua, construidas de hormigón y paredes de acero inoxidable, para crear una **barrera a las radiaciones** y evitar escapes.



- La energía es la magnitud física por la que los cuerpos tienen capacidad para realizar transformaciones en ellos mismos o en otros cuerpos.
- La energía en la naturaleza adopta diversas formas: energía mecánica (cinética, potencial gravitatoria y potencial elástica), energía eléctrica, energía radiante o electromagnética, energía química, energía térmica y energía nuclear.
- La cantidad total de energía del universo se mantiene constante en cualquier proceso.
- Con cada transformación, la energía va perdiendo utilidad para producir nuevas transformaciones: se **degrada**.
- El **rendimiento energético** es la relación entre la energía útil que obtenemos de un sistema y la energía que le suministramos.
- El **trabajo** de una fuerza constante que actúa sobre un cuerpo que se desplaza en la misma dirección y sentido de la fuerza, es el producto de la fuerza por el desplazamiento del cuerpo.
- Las **fuentes de energía** son el conjunto de recursos naturales que se utilizan para obtener energía.
- Las fuentes de energía no renovables son aquellas que se encuentran en la Tierra en cantidad limitada y, por tanto, se agotan con su utilización. La velocidad de consumo de estas fuentes de energía es mayor que la velocidad de regeneración. Las más importantes son el uranio, el carbón, el petróleo y el gas natural.
- Las fuentes de energía renovables son aquellas que pueden considerarse inagotables **debido** a que se renuevan de forma continua. Las más importantes son el agua embalsada, el agua del mar, el Sol, el viento, la biomasa y el calor interno de la Tierra.
- Llamamos **desarrollo sostenible** a aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras. A fin de conseguir un desarrollo sostenible debemos usar, en la medida de lo posible, las fuentes de energía renovables para **preservar los recursos energéticos** y **reducir la contaminación ambiental**. Asimismo, debemos poner en práctica medidas para el ahorro de energía.



<http://goo.gl/2zxOsm>

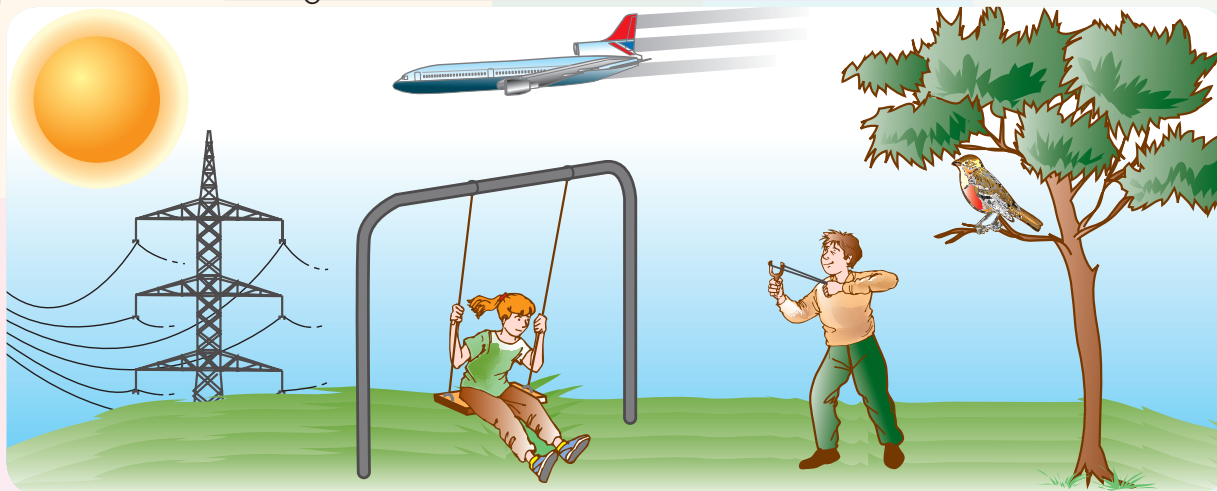
## Para finalizar

1 **Define** el concepto de energía e indica las formas que puede adoptar. Pon un ejemplo de cada una.

2 El arquero de la Olimpiada 92 lanzó la antorcha con su arco y encendió el pebetero del estadio en el acto de apertura.

— **Indica** todas las formas de energía que están presentes en algún momento del proceso.

3 **Identifica** todas las formas de energía presentes en esta imagen.



4 **Explica** de forma razonada los principios de conservación y degradación de la energía.

5 **Describe** las transformaciones energéticas que tienen lugar en el siguiente proceso:

Al enchufar una batidora a la red, giran las varillas y baten los alimentos. Al acabar, se advierte el calentamiento de los alimentos o de la propia batidora.

6 Según el principio de conservación de la energía, esta se mantiene constante en cualquier proceso. Entonces, ¿por qué decimos que hay que ahorrar energía?

7 **Busca** información sobre el rendimiento energético de las fuentes de energía renovables y no renovables. ¿Por qué es importante este factor?

8 **Busca** información, localiza y sitúa en un mapa de Ecuador, campos eólicos y yacimientos de fuentes de energía (carbón, petróleo y gas natural).

9 Formen grupos. **Elijan** una de las fuentes de energía renovables. **Busquen** información sobre el proceso de obtención de energía de esta fuente y realizar una presentación con la información recogida.

10 **Efectúa** esta práctica que pone de manifiesto el efecto de la radiación solar sobre las superficies negras. Para realizarla debes esperar a que salga un día soleado.

— **Consigue** dos botellas de plástico iguales. Despega todos los adhesivos. Pinta de negro una de ellas por su parte exterior y deja la otra transparente.

- **Llena** de agua ambas botellas y ponlas al sol.

Después de varias horas, mide la temperatura del agua en las dos botellas utilizando un termómetro.

- ¿En cuál de ellas es mayor la temperatura? ¿Qué conclusión se deduce?
- **Propón** alguna aplicación técnica del hecho observado.

**11** **Explica** cómo puede obtenerse energía:

- Del agua del mar.
- De la materia orgánica no fosilizada de la Tierra.

**12** Un padre sube a su hijo pequeño a un poni agarrándolo por la cintura.

- Representa** mediante vectores el peso del niño y la fuerza aplicada para levantarlo.
- Calcula** el trabajo que es preciso realizar si el niño tiene una masa de 25 kg y debe elevarse 84 cm.

**13** Un niño arrastra su caballo de ruedas mediante una cuerda sobre la que aplica una fuerza  $F$  5 (6 N, 1 N). Como consecuencia, el caballo se desplaza 10 m sobre el suelo (que consideraremos que tiene la dirección del eje X). **Calcula** el trabajo que ha efectuado el niño.

**14** Un cepillo de dientes eléctrico de potencia igual a 110 W funciona durante 5 min. **Calcula** qué trabajo realiza.

Un caballo joven tira de un remolque con una fuerza de 980 N y lo transporta a lo largo de 13 km en un tiempo de 24 min. Un asno viejo tira de un carro de paja con una fuerza de 450 N y lo transporta a lo largo de 63 km en un tiempo de 4 h y 12 min.

- ¿Cuál de los dos realiza mayor trabajo?
- ¿Cuál desarrolla mayor potencia?

**15** Razona si se realiza trabajo o no en los siguientes casos:

- Un jugador de baloncesto lanza un tiro libre.
- Un campesino tira de una cuerda atada a un asno sin conseguir desplazarlo de su posición.
- Un taxi lleva a sus ocupantes desde una parada hasta un hotel.

**16** Una plancha realiza un trabajo de 2,437 106 J en 30 min. ¿Qué potencia desarrolla? **Exprésala** en vatios y en caballos de vapor.

**17** Un elevador hidráulico levanta un automóvil de 1 150 kg a razón de 3 cm por segundo. **Calcula**:

- La potencia del elevador.
- El trabajo que realiza en un minuto.

## EVALUACIÓN

Reflexiona y **autoevalúate** en tu cuaderno:

### • Trabajo personal

¿Cómo ha sido mi actitud frente al trabajo?

¿He cumplido mis tareas?

¿Qué aprendí en esta unidad?

### • Trabajo en equipo

¿He compartido con mis compañeros y compañeras?

¿He respetado las opiniones de los demás?

### • **Escribe** la opinión de tu familia.

### • **Pide** a tu profesor o profesora sugerencias para mejorar y **escribelas**.

# 5

# Energía térmica

## CONTENIDOS:

1. Energía interna
  - 1.1. Temperatura
  - 1.2. Calor
  - 1.3. Formas de transferencia del calor
2. Efectos del calor
  - 2.1. Calor transferido con variación de la temperatura
  - 2.2. Valor del calor absorbido
  - 2.3. Equilibrio térmico
  - 2.4. Cambios de estado de agregación
  - 2.5. Dilatación térmica
3. Intercambios de trabajo y calor
  - 3.1. Transformaciones de trabajo en calor. Equivalente mecánico del calor
  - 3.2. Experiencia de Joule
  - 3.3. Primer principio de la termodinámica
  - 3.4. Transformaciones de calor en trabajo: Máquinas térmicas



## Películas

Máquinas Térmicas.

En este documental se explica el funcionamiento de una máquina térmica real y se analiza que tiene en común con la Máquina de Carnot, así como su eficiencia.

Fuente:

<https://goo.gl/VqEBtB>

## EN CONTEXTO

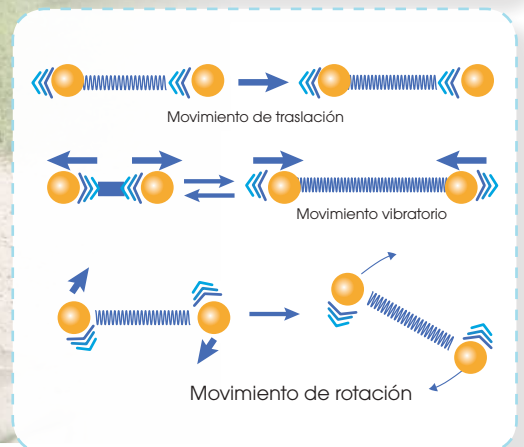
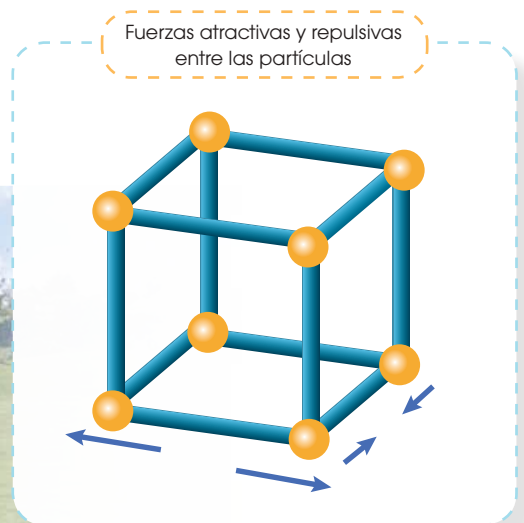
Después de ver el documental **responde**:

- Compare el funcionamiento de una máquina real con el de la máquina de Carnot y evidencie qué tienen en común.
- ¿En qué principio de la Termodinámica se basa el funcionamiento de la máquina de Carnot?
- ¿Cómo se determina la eficiencia de una máquina térmica por qué ésta eficiencia debe ser menor al 100 %?



# I. ENERGÍA INTERNA

Cualquier cuerpo posee cierta energía por el hecho de estar en movimiento o de tener altura sobre el nivel del suelo. Pero, ¿poseen los cuerpos otras energías?



La pelota de golf posee:

- **Energía potencial gravitatoria**, debido a la posición que ocupa respecto al suelo.
- **Energía cinética**, a causa de su estado de movimiento.
- **Energía potencial**, debida a las fuerzas atractivas y repulsivas entre las partículas.
- **Energía cinética**, a consecuencia de sus movimientos de traslación, vibración y rotación.

Las **partículas** de la pelota, incluso cuando está en reposo, poseen:

La energía cinética, asociada a los distintos tipos de movimiento de las partículas, y la energía potencial, debida a las fuerzas atractivas y repulsivas entre las partículas, contribuyen a la energía interna total de los cuerpos.

Llamamos energía interna ( $U$ ) de un cuerpo a la energía total de las partículas que lo constituyen, es decir, a la suma de todas las formas de energía que poseen sus partículas: átomos, moléculas e iones.

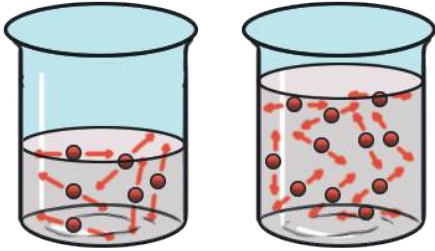
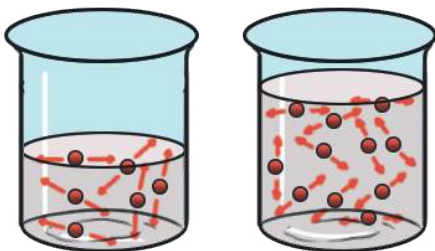
Es fácil comprender que la energía interna es una magnitud extensiva, porque es directamente proporcional a la masa del cuerpo y al movimiento. Esta energía nos permite definir dos conceptos bien conocidos desde la Antigüedad, pero cuyo significado no es fácil de precisar: temperatura y calor.

## 1.1. Temperatura

Podemos distinguir, al tacto, si un cuerpo está más caliente que otro. En ese caso decimos que el primero está a mayor temperatura que el segundo. Pero ¿qué contienen realmente los cuerpos para tener temperatura más elevada que otros?

Según la **teoría cinético-molecular de la materia**, las partículas de los cuerpos se mueven constantemente con velocidades variables.

Este movimiento recibe el nombre de agitación térmica y revela que poseen energía cinética. Un cuerpo tiene mayor agitación térmica si sus partículas se mueven a mayor velocidad.

Energía cinética total y energía cinética media			
			
Agitación térmica de las partículas de a	>	Agitación térmica de las partículas de b	
Agitación térmica de las partículas de a	=	Agitación térmica de las partículas de b	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Como la agitación térmica de las partículas en a es mayor que en b, las partículas de a tienen mayor energía cinética media que las de b.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Como la agitación térmica de las partículas en a y en b es igual, la energía cinética media de éstas es igual en b que en a.</li> <li>Como el recipiente b contiene más partículas que a, las partículas de b tendrán mayor energía cinética total.</li> </ul>	

### Así, diremos que:

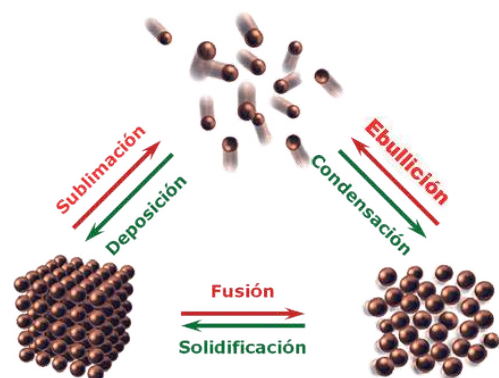
— Como la **energía cinética total** de las partículas de un cuerpo depende de su número, es una magnitud extensiva.

— Como la **energía cinética media** de las partículas de un cuerpo no depende de su número, es una magnitud intensiva.

Aunque no todas las partículas poseen el mismo valor de energía cinética, se puede obtener su valor medio para cada cuerpo. Conocido este, podremos afirmar que el cuerpo cuyas moléculas tengan mayor energía cinética media estará a mayor temperatura.

*La temperatura de los cuerpos es una medida de la energía cinética media de sus partículas, de modo que un cuerpo está a mayor temperatura que otro si la energía cinética media de sus partículas es mayor.*

Como el valor de la energía cinética media no depende del número de partículas de un cuerpo, el valor de la temperatura tampoco.



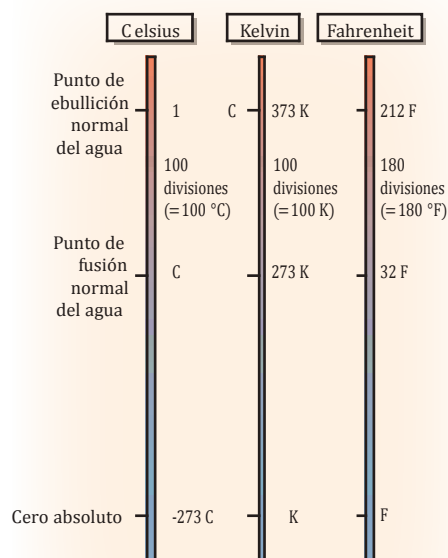
<http://eco.es/lza,DF>

Prohibida su reproducción

## Y TAMBIÉN:



**Cero absoluto:** temperatura a la cual cesa toda agitación térmica y es, por tanto, la mínima temperatura concebible, sin embargo esta no la puede alcanzar un cuerpo. El cero absoluto es un límite inferior inalcanzable.



■ Fig. 1.

## Termómetros

Son los instrumentos utilizados para medir la temperatura de los cuerpos y se caracterizan por:

- Alcanzar **rápidamente** la misma temperatura que el cuerpo con el que se ponen en contacto.
- **Medir la temperatura** de una manera **indirecta**; es decir, en realidad, miden una propiedad física relacionada con la temperatura.

Esta propiedad:

- Presenta siempre el mismo valor a una temperatura dada.
- Experimenta las mismas variaciones para los mismos cambios de temperatura.

Por ejemplo, en los termómetros de mercurio, este metal líquido experimenta una dilatación proporcional a su temperatura.

## Escalas de temperatura

Para expresar numéricamente la temperatura se utilizan las escalas termométricas. Todas ellas atribuyen un valor arbitrario a ciertos puntos fijos y dividen la escala en determinado número de divisiones iguales.

En la tabla 1 y en la figura 1 se describen las tres escalas de temperatura más utilizadas: *Celsius*, *Kelvin* (o *escala de temperaturas absolutas*) y *Fahrenheit*.

Estas tres escalas de temperatura utilizan puntos de fusión y ebullición normales, es decir, a 1 atm (101 293 Pa) de presión.

Escala Celsius	Escala Kelvin	Escala Fahrenheit
<p>Asigna el valor 0 °C (cero grados Celsius) al punto de fusión normal del agua y 100 °C, al punto de ebullición normal del agua.</p> <p>El intervalo entre las dos temperaturas se divide en 100 partes iguales llamadas grados Celsius.</p> <p>Estas divisiones son iguales que las de la escala Kelvin.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equivalencia entre la temperatura Celsius (<math>t_c</math>) y la Kelvin (T):</li> </ul> $T = t_c + 273$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equivalencia entre la temperatura Celsius (<math>t_c</math>) y la Fahrenheit (<math>t_F</math>):</li> </ul> $\frac{t_c}{5} = \frac{t_F - 32}{9}$	<p>Asigna el valor 0 K (cero kelvin) a la temperatura llamada cero absoluto.</p> <p>El punto de fusión normal del agua corresponde a 273,15 K y el de ebullición normal, a 373,15 K.</p> <p>Las divisiones de esta escala, llamadas kelvins, son iguales que las de la escala Celsius.</p> <p>El kelvin es la unidad utilizada en el Sistema Internacional (SI).</p> <p>Usualmente tomamos la temperatura de 273 K como la correspondiente a 0 °C, redondeando el valor de 273,15 K.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equivalencia entre la temperatura absoluta (T) y la Celsius (<math>t_c</math>):</li> </ul> $T = t_c + 273$	<p>Asigna el valor de 32 °F (32 grados Fahrenheit) al punto de fusión normal del agua y 212 °F, al punto de ebullición normal del agua.</p> <p>El intervalo entre ambas temperaturas se divide en 180 partes iguales llamadas grados Fahrenheit.</p> <p>Ésta es la escala usada comúnmente en Estados Unidos, Gran Bretaña y otros países de su influencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equivalencia entre la temperatura Fahrenheit (<math>t_F</math>) y la temperatura Celsius (<math>t_c</math>):</li> </ul> $\frac{t_c}{5} = \frac{t_F - 32}{9}$

■ Tabla 1.

## Ejemplo 1

Un boletín de noticias de Estados Unidos informa que la temperatura en Florida es de 91 °F. ¿A cuántos grados Celsius corresponde? ¿Y a cuántos kelvins?

— **Datos:**  $t_F = 91$  °F

— La equivalencia entre temperatura Celsius y temperatura Fahrenheit es:

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9} \quad \text{De donde, } t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32) = \frac{5}{9}(91 - 32) = 32,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

— La equivalencia entre temperatura Celsius y temperatura Kelvin es:

$$T = t_C + 273 = 32,8 + 273 = 305,8 \text{ K}$$

— La temperatura 91 °F equivale a 32,8 °C y a 305,8 K.

## Ejemplo 2

**Expresa** en grados Fahrenheit y en Kelvins 37 °C.

— Datos:  $t_C = 37$  °C

— La equivalencia entre la temperatura Celsius y la temperatura Fahrenheit es:

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9} \quad \text{De donde, } t_F = \frac{9}{5}t_C + 32 = \frac{9}{5}37 + 32 = 98,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

— La equivalencia entre la temperatura Kelvin y la temperatura Celsius es:

$$T = t_C + 273 = 37 + 273 = 310 \text{ K}$$

La temperatura 37 °C equivale a 98,6 °F y a 310 K.

## Y TAMBIÉN:

### El termómetro de Galileo

En 1592, el científico italiano Galileo Galilei (1564-1642) construyó un instrumento que puede considerarse el primer termómetro. Consistía en un delgado tubo de vidrio con un extremo cerrado y ensanchado en forma de ampolla.

Se calentaba el aire del tubo y se introducía su extremo abierto en una cubeta con agua coloreada. Al enfriarse el aire, se contraía y el líquido ascendía por el interior del tubo. Por el contrario, si se calentaba el aire de la ampolla, este se dilataba y el líquido descendía.

Al carecer de escala termométrica no era posible efectuar medidas cuantitativas de la temperatura.

## Actividades

1. **Disponemos** de dos recipientes que contienen 1 L de agua fría y 1 L de agua caliente, respectivamente. **Justifica** si la energía cinética media de las partículas de agua será igual en ambos recipientes. ¿Y la temperatura?
2. **Ponemos** sobre el fuego un cazo de agua fría. **Responde:**
  - ¿Qué le ocurrirá a la temperatura del agua transcurridos unos minutos?
  - ¿Qué le ocurrirá a la energía cinética media de las moléculas de agua?
3. **Explica** por qué la temperatura de un cuerpo no depende de su cantidad de masa.
4. **Explica** por qué cuando nos ponemos el termómetro para medir la temperatura de nuestro cuerpo debemos esperar unos minutos antes de efectuar la lectura.



<http://goo.gl/eXpacEh>

## Y TAMBIÉN:

La unidad de calor del SI es el julio (J), la misma que para la energía, pues el calor es una forma de energía transferida.

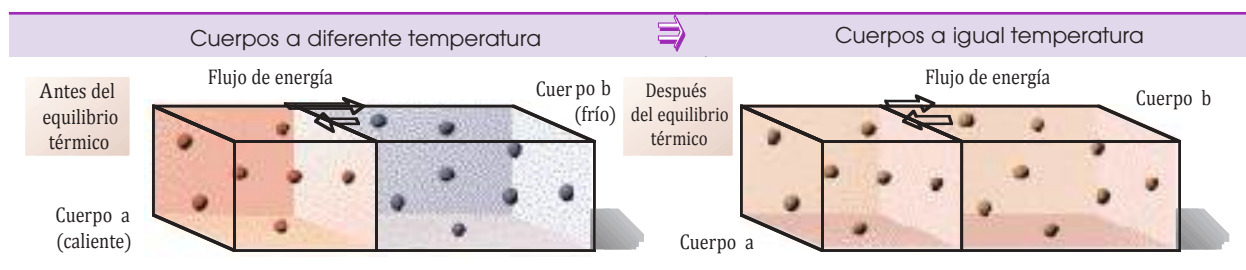
## 1.2. Calor

Sabemos que para calentar la comida debemos poner sobre el fuego los recipientes que la contienen. Este hecho tan común nos permite plantearnos preguntas como:

- ¿Por qué aumenta la temperatura de la comida?
- ¿Qué transfiere el fuego a la comida?

Podemos encontrar las respuestas si consideramos los cuerpos desde un punto de vista microscópico, es decir, si tenemos en cuenta el comportamiento de sus partículas.

El desarrollo de la teoría cinético-molecular de la materia ha conducido a la formulación de una teoría cinética del calor, que interpreta el calor como una forma de energía transferida.



El cuerpo *a* está a mayor temperatura que el cuerpo *b* y, por tanto, la energía cinética media de sus partículas es mayor. Al poner en contacto ambos cuerpos, las partículas del cuerpo *a* transfieren a las del cuerpo *b* parte de su energía.

También se produce cierta transferencia de energía, aunque menor, del cuerpo *b* al cuerpo *a*.

En el momento en que el flujo de energía llega a ser igual en los dos sentidos, se dice que los cuerpos *a* y *b* han alcanzado el **equilibrio térmico**: los dos están a la misma temperatura.

Esta energía que se ha transferido entre los dos cuerpos para alcanzar el equilibrio térmico es lo que denominamos calor o energía térmica. *La energía transferida entre dos cuerpos debido a una diferencia de temperatura se denomina calor o energía térmica.*



Cuando un cuerpo **recibe calor**, aumenta su energía interna y, como consecuencia, aumenta su temperatura.



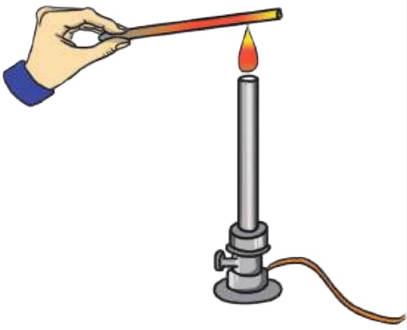

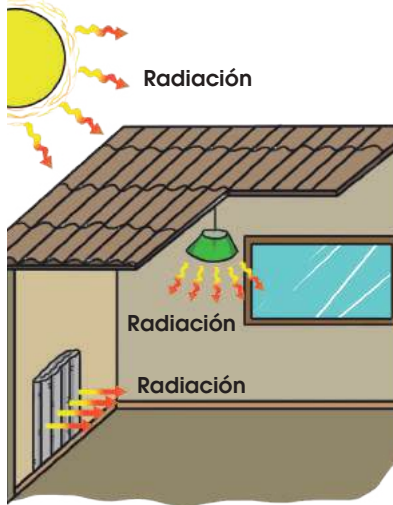
Cuando un cuerpo **cede calor**, disminuye su energía interna y, como consecuencia, disminuye su temperatura.

5. Dado un cuerpo A a mayor temperatura que un cuerpo B:
  - ¿En qué caso B tendrá más energía interna que A?
  - En el caso anterior, ¿cómo explicarías que A ceda energía a B?
6. Razona si es correcta la siguiente expresión: El agua a 80 °C tiene mucho calor. Si es incorrecta, corrígela.
7. Un recipiente contiene agua fría y otro, agua caliente.
  - ¿Podrían tener la misma cantidad de energía interna las dos masas de agua? **Explica** en qué condiciones.
  - ¿Podrían tener la misma energía cinética media? ¿Por qué?

## Formas de transferencia del calor

¿Te has preguntado alguna vez si es imprescindible el contacto físico entre el foco calorífico y el cuerpo para que este se caliente? La experiencia nos dice que no.

Se distinguen tres formas distintas de transferencia de la energía térmica que se denominan conducción, convección y radiación.

Conducción	Convección	Radiación
<p>Si sujetamos una barra metálica por un extremo y acercamos el otro extremo a una llama, al poco tiempo notamos que nos llega calor.</p> <p>Las partículas de la barra no abandonan su posición pero, al vibrar, chocan con las partículas próximas transmitiéndoles energía cinética.</p> <p>Así, va aumentando la temperatura del sólido desde un extremo a otro.</p> <div data-bbox="140 950 528 1087" style="background-color: #d9ead3; padding: 5px;"> <p>La transferencia de calor que tiene lugar por transmisión de energía de unas partículas a otras sin desplazamiento de estas se denomina <b>conducción</b>.</p> </div> <div data-bbox="252 1100 453 1137" style="text-align: center;"> <p>Calor ← </p> </div> 	<p>Si colocamos la mano por encima de una llama notamos que nos llega calor.</p> <p>El transporte de la energía térmica es efectuado por las moléculas del aire próximas a la llama al desplazarse hacia nuestra mano.</p> <p>La causa de este desplazamiento reside en que el aire caliente se dilata, por lo que pierde densidad y asciende, siendo reemplazado por aire frío, más denso, que desciende. Estos desplazamientos reciben el nombre de corrientes de convección.</p> <div data-bbox="579 1100 967 1218" style="background-color: #d9ead3; padding: 5px;"> <p>La transferencia de calor que tiene lugar mediante el movimiento de las partículas de un fluido se denomina <b>convección</b>.</p> </div> <div data-bbox="638 1240 943 1552" style="text-align: center;">  <p>Aire caliente</p> <p>Aire frío</p> </div>	<p>Nuestro planeta recibe la energía térmica procedente del Sol a través del vacío y a la velocidad de la luz.</p> <p>El Sol emite calor mediante ondas de naturaleza electromagnética.</p> <p>De modo similar recibimos calor procedente de una bombilla encendida o de un aparato de calefacción.</p> <div data-bbox="1027 891 1417 1028" style="background-color: #d9ead3; padding: 5px;"> <p>La transferencia de calor mediante ondas electromagnéticas, sin la intervención de partículas materiales que lo transporten, se denomina <b>radiación</b>.</p> </div> 

8. **Enumera** las diferentes formas de transferencia del calor. **Explica** en qué consisten y **pon** un ejemplo de cada una.

9. **Explica** el siguiente hecho:

Al introducir una cuchara metálica en agua caliente notamos que el calor llega hasta nuestra mano.

10. **Di** qué forma de transferencia del calor tiene lugar al acercar tu mano a un aparato de calefacción:

- Si tocas directamente el aparato de calefacción.
- Si colocas la mano a cierta distancia por encima del aparato.
- Si colocas la mano a cierta distancia lateralmente.

## Y TAMBIÉN:



### La caloría

Ya sabes que la unidad del SI para medir el calor es el julio. Sin embargo, existe otra unidad de interés histórico que se utiliza todavía para cuantificar la energía térmica. Se trata de la caloría.

*Una caloría, cuyo símbolo es cal, es la cantidad de calor que debe recibir un gramo de agua para que su temperatura aumente un grado Celsius.*

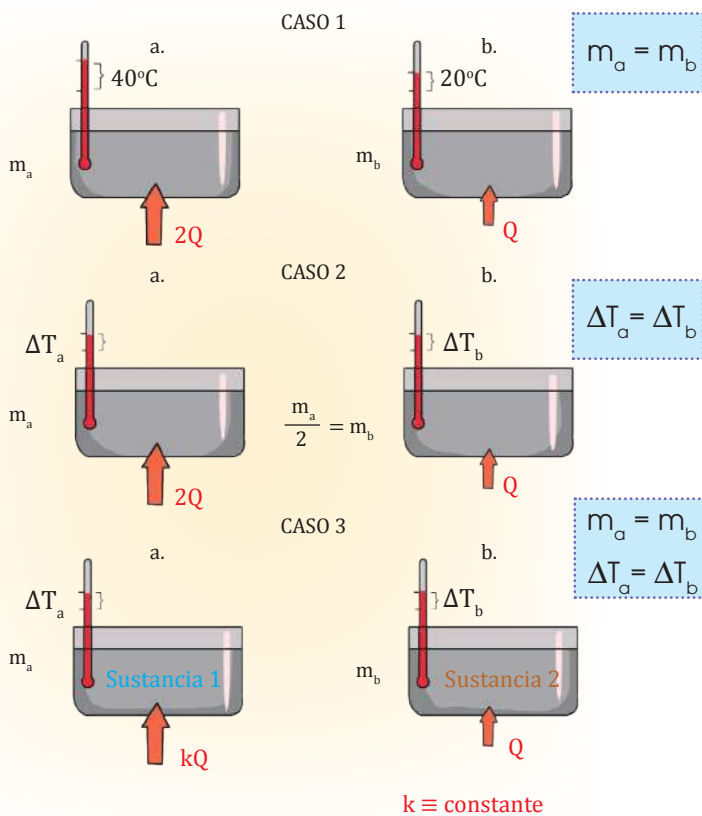
## 2. EFECTOS DEL CALOR

Sabemos que al suministrar calor a un cuerpo aumenta su energía interna. Aunque no podemos percibir este aumento a simple vista, sí podemos observar sus posibles efectos.

- Aumento de la temperatura: se aprecia con el termómetro.
- Cambio del estado de agregación: observamos el paso, por ejemplo, de sólido a líquido.
- Dilatación del cuerpo: advertimos su aumento de tamaño.

### 2.1. Calor transferido con variación de la temperatura

Veamos de qué factores depende la cantidad de calor absorbido o cedido por un cuerpo.



#### Caso 1:

Los recipientes *a* y *b* contienen masas iguales de agua.

- Para que la masa de agua contenida en *a* aumente 40 °C su temperatura y la contenida en *b* aumente 20 °C, el agua de *a* debe recibir el doble de calor que el agua de *b*.

#### Caso 2:

El recipiente *a* contiene el doble de agua que el recipiente *b*.

- Para que la temperatura de las dos masas de agua experimente el mismo aumento, el agua de *a* debe recibir el doble de calor que el agua de *b*.

#### Caso 3:

Los recipientes *a* y *b* contienen masas iguales de sustancias distintas.

- Para que la temperatura de las dos masas experimente el mismo aumento, estas deben recibir distinta cantidad de calor.

## Y TAMBIÉN:



Una variación de la temperatura tiene el mismo valor en la escala Celsius que en la escala Kelvin.

Supongamos, por ejemplo, que un cuerpo incrementa su temperatura de 20 °C a 40 °C.

$$\begin{aligned} T &= t + 273 = 40 + 273 = 313 \text{ K} \\ T_0 &= t_0 + 273 = 20 + 273 = 293 \text{ K} \\ T - T_0 &= 313 \text{ K} - 293 \text{ K} = 20 \text{ K} \\ t - t_0 &= 40 \text{ °C} - 20 \text{ °C} = 20 \text{ °C} \end{aligned}$$

Es decir:  $T - T_0 = t - t_0$

La cantidad de calor absorbido o cedido por un cuerpo depende del **incremento de temperatura**, de su **masa** y de su **propia naturaleza**.

La naturaleza de cada sustancia se refleja en una magnitud física denominada calor específico o capacidad calorífica específica.

**Calor específico** de una sustancia, *c*, es el calor que debe recibir la unidad de masa de una sustancia para que aumente un kelvin su temperatura.

El calor específico se mide en  $\text{J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}$  en el SI, o lo que es lo mismo, en  $\text{J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{°C}^{-1}$ , ya que una variación de un Kelvin es igual a una variación de un grado Celsius.

## Valor del calor absorbido

Los tres factores citados (incremento de la temperatura,  $\Delta t$ , masa del cuerpo,  $m$ , y naturaleza del cuerpo) se resumen en la siguiente expresión que permite calcular el **calor absorbido** por un cuerpo.

$$Q = c m \Delta t = c m (t - t_0)$$

$Q$  = calor transferido  
 $c$  = calor específico  
 $m$  = masa del cuerpo  
 $t$  = temperatura final de la variación  
 $t_0$  = temperatura inicial de la variación

Esta expresión es válida siempre y cuando los cuerpos no experimenten un cambio de estado de agregación, es decir, cuando todo el calor transferido se emplea en variar la temperatura de los cuerpos. Un valor de  **$Q$  positivo** indica que el **calor es absorbido** por el cuerpo; en cambio, un valor de  **$Q$  negativo** significa que el **calor es cedido** por el cuerpo.

Por supuesto, se trata de un convenio de signos. Si en lugar de restar la temperatura inicial a la final ( $t - t_0$ ), restamos la temperatura final a la inicial ( $t_0 - t$ ), un valor de  $Q$  negativo indicaría calor absorbido y un valor positivo, calor cedido.

Sin embargo, es preferible el convenio que aparece en la fórmula y que considera positivo el calor que **recibe el sistema**.

## Y TAMBIÉN:

Calores específicos de algunas sustancias a 20 °C

Sustancia	Calor específico (J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )
Agua líquida	4 180
Hielo (-10 °C)	2 090
Vapor de agua (110 °C)	2 010
Etanol	2 424
Aluminio	899
Hierro	443
Cobre	385
Plomo	130
Mercurio	140

■ Tabla 2.

*Una misma sustancia presenta calores específicos distintos según su estado. Además, el calor específico varía con la temperatura.*

### Ejemplo 3

Una pieza de cobre de 50 g se ha enfriado desde 80 °C hasta 25 °C. **Calcula** el calor que ha cedido.

— Datos:

Calor específico del cobre,

$$c = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

Masa de la pieza de cobre,  $m = 50 \text{ g} = 0,050 \text{ kg}$

Temperatura inicial,  $t_0 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura final,  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

— Calculamos la variación de la temperatura,

$$\Delta t = t - t_0 = 25^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C} = -55^\circ\text{C}$$

— Aplicamos la expresión que nos permite calcular el calor absorbido y sustituimos por los datos del problema:

$$Q = c m (t - t_0)$$

$$Q = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 0,050 \text{ kg} (-55^\circ\text{C})$$

$$Q = 1058,8 \text{ J}$$

La pieza de cobre cedió 1058,8 J.

### Ejemplo 4

Una barra de hierro de 5 kg, que estaba a 25 °C, se calentó al recibir 221 500 J. ¿Qué temperatura adquirió?

— Datos:

Calor recibida,  $Q = 221\,500 \text{ J}$

Calor específico del hierro,

$$c = 443 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 443 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

Masa de la barra  $m = 5 \text{ kg}$

Temperatura inicial,  $t_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura final,  $t =$  desconocida

— La expresión  $Q = c m (t - t_0)$  nos permite calcular el calor absorbido. De ella despejamos  $t$  y sustituimos los datos del problema:

$$Q = c m t - c m t_0 ; c m t = Q + c m t_0$$

$$t = \frac{Q + c m t_0}{c m} = \frac{Q}{c m} + t_0$$

$$t = \frac{221\,500 \text{ J}}{443 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 5 \text{ kg}} + 25^\circ\text{C} = 125^\circ\text{C}$$

La barra adquirió la temperatura de 125°C.



11. ¿Qué entendemos por equilibrio térmico? ¿Qué característica tienen en común dos cuerpos en equilibrio térmico?
12. Deseamos calentar 250 g de agua desde 20 °C a 40 °C. ¿Cuánto calor se requiere? (Calor específico del agua,  $c = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
13. **Calcula** la masa de una pieza de hierro si se sabe que, para aumentar su temperatura desde 25 °C a 100 °C, necesita absorber 2 508 J. (Calor específico del hierro,  $c = 443 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
14. Catorce gramos de cierta sustancia absorben 2090 J para aumentar su temperatura desde 15 °C a 90 °C. **Calcula** con estos datos su calor específico.
  - **Describe** cómo llevarías a cabo, experimentalmente estas mediciones.
15. Se calentó una pieza de 100 g de un metal a la temperatura de 90 °C para determinar su calor específico y se introdujo rápidamente en un calorímetro que contenía 200 mL de agua a 10 °C. Una vez alcanzado el equilibrio térmico, se observó que la temperatura era de 12 °C. **Calcula** el calor específico del metal.
16. En un calorímetro que contiene 800 g de agua a 7 °C se sumerge una esfera de 100 g de cierto material que se encuentra a 100 °C. Si la temperatura de equilibrio es de 12 °C, ¿cuál es el calor específico del material investigado?
  - ¿Cuánto calor ha cedido la esfera?

TIC



Calcula la capacidad calorífica de un calorímetro y, a continuación, el calor específico del cobre

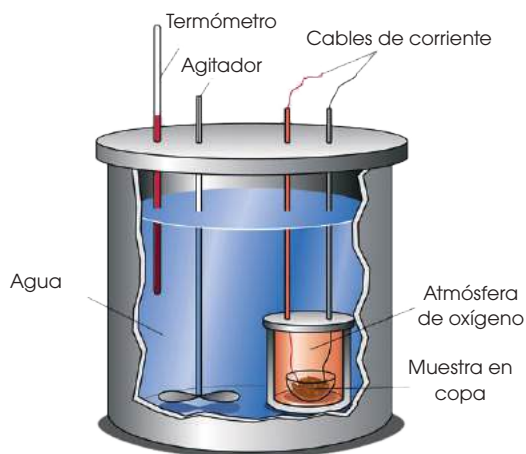
**Visita:**

<http://goo.gl/l1JEaa>

### Calorímetro

Se trata de un recipiente aislado térmicamente del exterior y que reposa sobre unos pies aislantes. El aislamiento asegura que todo el calor se intercambia entre las sustancias que se introducen en él.

Está provisto de una tapa, también aislante, con unos orificios para introducir un termómetro y un agitador.



<http://goo.gl/OvjCOu>

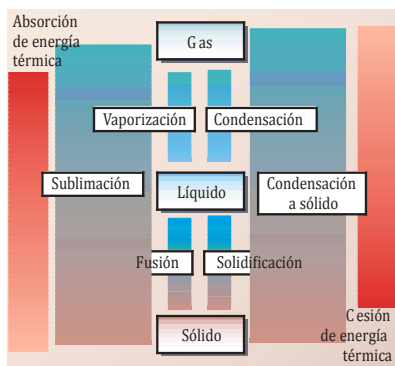
Este aparato permite determinar el calor específico de las sustancias. Veamos un ejemplo:

- Colocamos una masa determinada de agua,  $m_a$ , en el calorímetro. Lo cerramos, agitamos el agua y medimos su temperatura  $t_a$ , cuando alcanza el equilibrio térmico con el recipiente.
- Medimos la masa,  $m_b$ , y la temperatura,  $t_b$ , de la sustancia cuyo calor específico,  $c_b$ , queremos determinar.
- Introducimos la masa,  $m_b$ , en el calorímetro y lo cerramos.
- Esperamos a que se alcance el equilibrio térmico y medimos la temperatura,  $t$ .

En nuestros cálculos, no tendremos en cuenta la cantidad de calor absorbido o cedido por el calorímetro, por tanto, el calor absorbido por el agua,  $Q_a$ , es igual al calor cedido por el cuerpo,  $Q_b$ .

$$Q_a = Q_b ; m_a c_a (t - t_a) = m_b c_b (t_b - t)$$

$$C_b = \frac{m_a c_a (t - t_a)}{m_b (t_b - t)}$$



■ Fig. 2.  
■ Cambios de estado

## 2.2. Valor del calor absorbido

Si sacamos unos cubitos de hielo del congelador, observaremos que, al cabo de poco tiempo, se transformarán en agua líquida y que, muy lentamente, esta se evaporará convirtiéndose en vapor de agua.

Estas transformaciones reciben el nombre de cambios de estado de agregación y tienen lugar mediante transferencia de calor. En el ejemplo anterior el agua tomó este calor de su propio entorno.

En la figura 2 se representa un esquema de los cambios de estado posibles. Unos tienen lugar mediante absorción de calor por el cuerpo, mientras que otros se producen con cesión de calor por parte de éste.

La **teoría cinético-molecular** de la materia proporciona una explicación de los cambios de estado:

- La **absorción de calor** produce un aumento de la energía cinética y potencial de las partículas del cuerpo. Si se vencen las fuerzas atractivas que existen entre ellas, el sólido pasa a líquido o el líquido pasa a gas.
- La **cesión de calor** supone una disminución de la energía cinética y potencial de las partículas. Esta disminución repercute en un aumento de las atracciones entre ellas, de modo que el gas puede pasar a líquido y el líquido, a sólido.

Fusión		Vaporización	
Cambio de estado que experimenta una sustancia al pasar de <b>sólido a líquido</b> . El <b>calor absorbido</b> por un cuerpo en la <b>fusión</b> es <b>igual al calor cedido</b> por éste en la <b>solidificación</b> .		Cambio de estado que experimenta una sustancia al pasar de <b>líquido a gas</b> . El <b>calor absorbido</b> por un cuerpo en la <b>vaporización</b> es <b>igual al calor cedido</b> por éste en la <b>condensación</b> .	
Punto de fusión	Calor de fusión	Punto de ebullición	Calor de vaporización
La fusión de una sustancia pura tiene lugar a una temperatura determinada que recibe el nombre de temperatura de fusión o punto de fusión. Ésta se mantiene constante mientras tiene lugar el cambio de estado y su valor depende de la sustancia y de la presión externa. — El agua funde a 0 °C bajo la presión externa de 1 atm (101 293 Pa). La solidificación es el paso de líquido a sólido y sucede a la misma temperatura que la fusión.	Cada sustancia requiere una cantidad de calor característica para que se produzca su fusión.  El <b>calor de fusión (<math>L_f</math>)</b> es el calor necesario para que la unidad de masa de una sustancia pase de sólido a líquido a la temperatura de fusión.  Unidad en el SI: $J \cdot kg^{-1}$ — Calor de fusión del agua a 1 atm: $L_f = 333\,500\, J \cdot kg^{-1}$ Calor necesario para fundir una masa $m$ de una sustancia: $Q = mL_f$	La ebullición es una forma particular de vaporización que afecta a todo el volumen del líquido. La ebullición de una sustancia pura sucede a una temperatura determinada que recibe el nombre de temperatura de ebullición o punto de ebullición. Esta se mantiene constante, mientras tiene lugar el cambio de estado y su valor depende de la sustancia y de la presión externa. — El agua hierve a 100 °C bajo la presión externa de 1 atm. La condensación es el paso de <b>gas a líquido</b> y sucede a la misma temperatura que la ebullición.	Cada sustancia requiere una cantidad de calor característica para que se produzca su vaporización.  El <b>calor de vaporización (<math>L_v</math>)</b> es el calor necesario para que la unidad de masa de una sustancia pase de líquido a vapor a la temperatura de ebullición.  Unidad en el SI: $J \cdot kg^{-1}$ — Calor de vaporización del agua a 1 atm: $L_v = 2\,257\,000\, J \cdot kg^{-1}$ Calor necesario para hervir una masa $m$ de una sustancia: $Q = mL_v$

### Ejemplo 5

**Calcula** el calor necesario para transformar totalmente 300 g de hielo a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  en agua líquida a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

– Datos:  $m = 300\text{ g} = 0,3\text{ kg}$ ;  $t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Este proceso se realizará en dos etapas:

– En primer lugar, necesitaremos suministrar al hielo cierto calor  $Q_1$  para aumentar su temperatura a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (sin que se produzca cambio de estado).

– En segundo lugar, necesitaremos suministrar al hielo cierto calor  $Q_2$  para fundirlo (sin que se produzca cambio de temperatura). La gráfica de la figura 2 representa el proceso descrito.

– Tramo AB: calor para que el hielo alcance la temperatura de fusión,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_2 = c m (t - t_0) = 2\,090\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 0,300\text{ kg} [0^{\circ}\text{C} - (-15^{\circ}\text{C})] = 9\,405\text{ J}$$

– Tramo BC: calor para fundir el hielo a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_2 = m L_f = 0,300\text{ kg} \cdot 333\,500\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 100\,050\text{ J}$$

– Calor total necesario:  $Q = Q_1 + Q_2 = 668\,800\text{ J} + 4\,514\,000\text{ J} = 5\,182\,800\text{ J}$

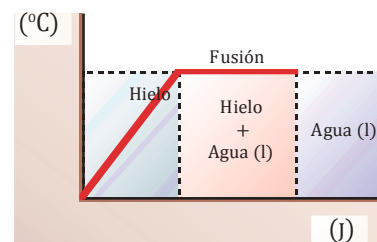


Fig. 2.

### Ejemplo 6

**Calcula** la cantidad de calor necesaria para transformar totalmente 2 L de agua a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  en vapor de agua a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

– Datos:  $m = 2\text{ kg}$ ;  $t_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Este proceso se realizará en dos etapas:

– Debemos suministrar al agua una cantidad de calor  $Q_1$  para aumentar su temperatura hasta  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

– Debemos suministrar al agua una cantidad de calor  $Q_2$  para hervirla.

La gráfica de la figura 3, representa el proceso descrito.

– Tramo AB: calor necesario para calentar el agua hasta  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_1 = c m (t - t_0) = 4\,180\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 2\text{ kg} (100^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 668\,800\text{ J}$$

– Tramo BC: calor necesario para hervir el agua.

$$Q_2 = m L_v = 2\text{ kg} \cdot 2\,257\,000\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 4\,514\,000\text{ J}$$

– Calor total necesario:  $Q = Q_1 + Q_2 = 668\,800\text{ J} + 4\,514\,000\text{ J} = 5\,182\,800\text{ J}$

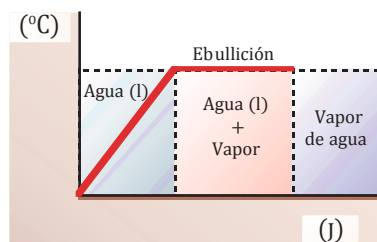


Fig. 3.

17. Deseamos fundir 200 g de plomo que están a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ¿Cuánto calor se requiere? (Calor específico del plomo,  $c = 130\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ; punto de fusión del plomo,  $t = 327\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; calor de fusión del plomo,  $L_f = 22\,990\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

18. **Calcula** el calor que hemos de suministrar a 100 g de hielo a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  para transformarlos en agua líquida a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

19. Se tienen 10 g de agua a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a los que suministramos 25 914 J de calor para transformarlos en vapor de agua. **Calcula** la temperatura final.

### Actividades

#### Puntos normales de fusión y de ebullición de algunas sustancias

Sustancia	Punto de fusión ( $^{\circ}\text{C}$ )	Punto de ebullición ( $^{\circ}\text{C}$ )
Agua	0	100
Etanol	-117	78
Mercurio	-39	357
Cobre	1 083	2 567
Plata	962	2 212
Plomo	327	1 740
Oro	1 064	3 080

Tabla 3.

**Coefficientes  
de dilatación lineal  
de algunos sólidos a 20°C**

Sustancia	Coefficiente de dilatación (°C <sup>-1</sup> )
Plomo	2,9 × 10 <sup>-5</sup>
Aluminio	2,5 × 10 <sup>-5</sup>
Latón	1,9 × 10 <sup>-5</sup>
Cobre	1,7 × 10 <sup>-5</sup>
Hierro	1,2 × 10 <sup>-5</sup>
Vidrio	0,9 × 10 <sup>-5</sup>
Platino	0,9 × 10 <sup>-5</sup>

■ Tabla4.

**Y TAMBIÉN:** 

La unidad del SI para los coeficientes de dilatación lineal, superficial y cúbica es °C<sup>-1</sup>, o bien, K<sup>-1</sup>.

## 2.3. Equilibrio térmico

Si ponemos un termómetro de mercurio en contacto con un cuerpo a elevada temperatura, observamos que rápidamente se eleva el nivel del mercurio dentro del delgado tubo de vidrio que lo contiene. Diremos que el mercurio ha aumentado su volumen por efecto de un incremento de temperatura. Pero, ¿por qué se produce este efecto?

Cuando un cuerpo absorbe calor, aumenta la energía cinética de sus partículas y se amplían las vibraciones de éstas. De este modo, aumentan la distancia entre partículas y el volumen del cuerpo.

El aumento de volumen que experimentan los cuerpos al elevar su temperatura se conoce como **dilatación térmica**.

La dilatación térmica afecta a todos los estados de agregación de la materia, aunque su magnitud depende de la intensidad de las fuerzas atractivas entre las partículas. Por eso en los sólidos, donde estas fuerzas son más intensas, la dilatación suele ser menor que en los líquidos; y en éstos, menor que en los gases, donde las fuerzas atractivas son prácticamente inexistentes.

### Dilatación de los sólidos

Quizá hayas observado en muchos puentes y edificios la existencia de pequeñas separaciones, llamadas juntas de dilatación, entre distintas partes de la estructura. Estas juntas se construyen en previsión de la dilatación de los cuerpos y, de este modo, se evita la deformación, e incluso, la rotura de la estructura.

Al calentar un sólido, este experimenta una dilatación en todas sus dimensiones que depende del incremento de temperatura y de la naturaleza del sólido. Sin embargo, es útil distinguir tres tipos de dilatación.

Dilatación lineal	Dilatación superficial	Dilatación cúbica
<p>Corresponde a la variación de longitud del sólido.</p> <p>El incremento que experimenta la unidad de longitud al aumentar 1 °C la temperatura se denomina <b>coeficiente de dilatación lineal</b> del sólido, <math>\lambda</math>.</p> $\lambda = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{l - l_0}{t - t_0} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor de la nueva longitud l:                     <math display="block">l = l_0 + l_0 \lambda \Delta t</math> <math display="block">l = l_0 (1 + \lambda \Delta t)</math> </li> </ul> <p><math>l_0</math> = longitud inicial  <math>\Delta t</math> = incremento de temperatura  <math>\lambda</math> = coeficiente de dilatación lineal</p>	<p>Corresponde a la variación de superficie del sólido.</p> <p>El incremento que experimenta la unidad de superficie al aumentar 1 °C la temperatura se denomina <b>coeficiente de dilatación superficial</b> del sólido, <math>\beta</math>.</p> $\beta = \frac{1}{S_0} \cdot \frac{S - S_0}{t - t_0} = \frac{1}{S_0} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor de la nueva longitud S:                     <math display="block">S = S_0 + S_0 \beta \Delta t</math> <math display="block">S = S_0 (1 + \beta \Delta t)</math> </li> </ul> <p><math>S_0</math> = longitud inicial  <math>\Delta t</math> = incremento de temperatura  <math>\beta</math> = coeficiente de dilatación superficial (aproximadamente igual a 2 <math>\lambda</math>)</p>	<p>Corresponde a la variación de volumen del sólido.</p> <p>El incremento que experimenta la unidad de volumen al aumentar 1 °C la temperatura se denomina <b>coeficiente de dilatación cúbica</b> del sólido, <math>\gamma</math>.</p> $\gamma = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{V - V_0}{t - t_0} = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor de la nueva longitud V:                     <math display="block">V = V_0 + V_0 \gamma \Delta t</math> <math display="block">V = V_0 (1 + \gamma \Delta t)</math> </li> </ul> <p><math>V_0</math> = longitud inicial  <math>\Delta t</math> = incremento de temperatura  <math>\gamma</math> = coeficiente de dilatación cúbica (aproximadamente igual a 3<math>\lambda</math>)</p>

### Ejemplo 7

Una barra de cobre a 15 °C tiene una longitud de 80 cm. **Calcula** qué longitud tendrá si se calienta hasta 90 °C.

- Datos: Longitud inicial,  $l_0 = 80$  cm  
Incremento de la temperatura,  
 $\Delta t = 90\text{ °C} - 15\text{ °C} = 75\text{ °C}$   
Coeficiente de dilatación lineal del cobre,  
 $\lambda = 1,7 \cdot 10^{-5}\text{ °C}^{-1}$
- Calculamos la longitud final:  $l = l_0 (1 + \lambda \Delta t)$   
 $l = 80\text{ cm} (1 + 1,7 \cdot 10^{-5}\text{ °C}^{-1} \cdot 75\text{ °C})$   
 $l = 80\text{ cm} (1 + 1,28 \cdot 10^{-3}) = 80\text{ cm} \cdot 1,001 = 80,1\text{ cm}$

### Ejemplo 8

Una pieza de aluminio a 20 °C tiene un volumen de 5 cm<sup>3</sup>. **Calcula** su volumen a 280 °C.

- Datos: Volumen inicial,  $V_0 = 5\text{ cm}^3$   
Incremento de temperatura,  
 $\Delta t = 280\text{ °C} - 20\text{ °C} = 260\text{ °C}$   
Coeficiente de dilatación cúbica del aluminio,  
 $\gamma = 3\lambda = 3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}\text{ °C}^{-1} = 7,5 \cdot 10^{-5}\text{ °C}^{-1}$
- Hallamos el volumen a 280 °C:  $V = V_0 (1 + \gamma \Delta t)$   
 $V = 5\text{ cm}^3 (1 + 7,5 \cdot 10^{-5}\text{ °C}^{-1} \cdot 260\text{ °C})$   
 $V = 5\text{ cm}^3 (1 + 0,02) = 5\text{ cm}^3 \cdot 1,02 = 5,1\text{ cm}^3$

## Dilatación de los líquidos

La dilatación de los líquidos es similar a la dilatación cúbica de los sólidos. Por lo tanto, depende del incremento de temperatura y de la naturaleza del líquido.

Cada líquido presenta un coeficiente de dilatación cúbica característico. Este es, por lo general, bastante mayor que el de los sólidos (tabla 5).

El volumen del líquido después de aumentar su temperatura  $\Delta t$  se calcula mediante la expresión:

$$V = V_0 (1 + k \Delta t)$$

$V_0$  = volumen inicial  
 $V$  = volumen final  
 $K$  = coeficiente de dilatación cúbica del líquido

### Y TAMBIÉN:

Coeficiente de dilatación cúbica de algunos líquidos a 20°C

Sustancia	Coeficiente de dilatación (°C <sup>-1</sup> )
Bromo	$1,1 \times 10^{-4}$
Mercurio	$1,8 \times 10^{-4}$
Agua	$2,1 \times 10^{-4}$
Glicerina	$4,9 \times 10^{-4}$
Etanol	$1,0 \times 10^{-3}$
Benceno	$1,2 \times 10^{-3}$

■ Tabla 5.

### Ejemplo 9

**Calcula** el volumen de cierta cantidad de mercurio a 350 °C sabiendo que a 20 °C ocupa un volumen de 1 L.

- Datos:  $V_0 = 1\text{ L}$   
 $\Delta t = 350\text{ °C} - 20\text{ °C} = 330\text{ °C}$   
 $K = 1,8 \cdot 10^{-4}\text{ °C}^{-1}$

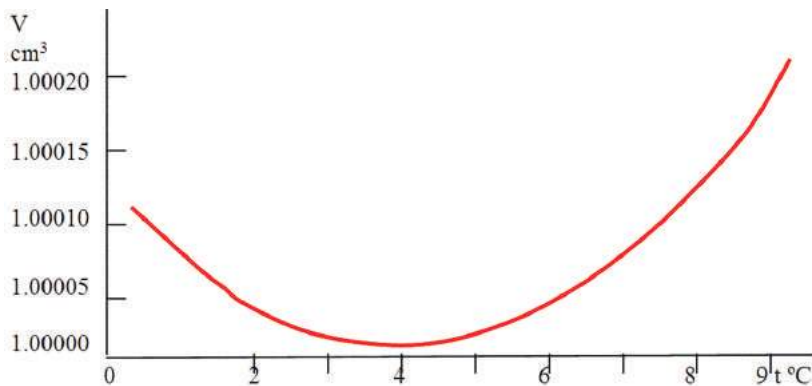
— Hallamos el volumen a 350 °C:

$$V = V_0 (1 + k \Delta t)$$

$$V = 1\text{ L} (1 + 1,8 \cdot 10^{-4}\text{ °C}^{-1} \cdot 330\text{ °C})$$

$$V = 1\text{ L} (1 + 0,06) = 1\text{ L} \cdot 1,06 = 1,06\text{ L}$$

### Y TAMBIÉN:



Efecto de la variación de temperatura en el volumen de 1 g de agua

### La dilatación del agua

El agua tiene un coeficiente de dilatación negativo entre 0 °C y 4 °C, ya que disminuye su volumen al aumentar la temperatura. A partir de 4 °C, temperatura a la que el agua tiene su volumen mínimo, el coeficiente es positivo y el agua se dilata al aumentar la temperatura.

## Dilatación de los gases

El estudio de la dilatación de los gases se lleva a cabo a presión constante, ya que esta ejerce una influencia muy notable sobre su volumen.

Experimentalmente se comprueba que la dilatación térmica de los gases no depende de su naturaleza. Es decir, todos los gases experimentan el mismo incremento de volumen con un mismo incremento de temperatura.

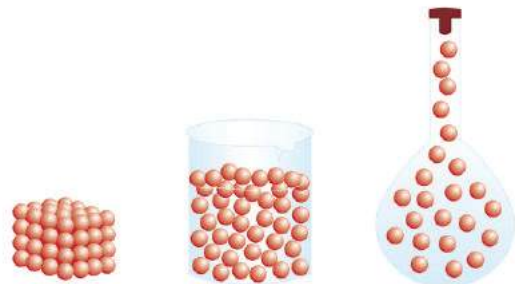
El coeficiente de dilatación de los gases,  $\alpha$ , es el mismo para todos ellos y su valor es:

$$\alpha = \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

El valor del volumen final de un gas que ha experimentado un incremento de temperatura  $\Delta t$  se calcula a partir de la expresión:

$$V = V_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

$V_0$  = volumen inicial  
 $V$  = volumen final



### Ejemplo 10

Cierta gas que inicialmente ocupa un volumen de 10 L se expande a presión constante cuando aumentamos su temperatura desde 20 °C hasta 80 °C. **Calcula** el volumen final del gas.

- Datos:  $v_0 = 10 \text{ L}$   
 $\Delta t = 80 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$
  - Hallamos el volumen final:  $V = V_0 (1 + \alpha \Delta t)$
- $$V = 10 \text{ L} \left( 1 + \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 60 \text{ } ^\circ\text{C} \right) = 10 \text{ L} (1 + 0,2) = 12,2 \text{ L}$$

### Actividades

20. ¿Qué es la dilatación térmica?
  - **Cita** los diferentes tipos de dilatación térmica que existen.
21. ¿Existe alguna sustancia que tenga coeficiente de dilatación negativo? ¿En qué condiciones?
22. **Calcula** el coeficiente de dilatación lineal del plomo sabiendo que una barra de plomo de 1 m de longitud se alarga 2,9 mm cuando su temperatura aumenta 100 °C.
23. Una lámina de cierto material tiene una superficie de 120 cm<sup>2</sup> a 0 °C y una superficie de 134,4 cm<sup>2</sup> a 30 °C. **Calcula** los coeficientes de dilatación superficial y de dilatación lineal de dicho material.
24. Una barra de aluminio ( $\lambda = 2,5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) tiene una longitud de 25 m a 40 °C. ¿Qué longitud tendrá si su temperatura desciende a -25 °C?
25. **Calcula** el incremento de temperatura necesario para aumentar en 1 mm la longitud de una barra de cobre ( $\lambda = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) de 1 m.
26. **Calcula** el coeficiente de dilatación cúbica de un líquido si sabemos que 1 dm<sup>3</sup> de este líquido se expande hasta 1,042 dm<sup>3</sup> cuando su temperatura se eleva 160 °C.
27. Se tienen 200 cm<sup>3</sup> de mercurio a 30 °C. ¿Qué volumen ocuparán a 100 °C? (Coeficiente de dilatación del mercurio =  $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )
28. Cierta gas ocupa un volumen de 2 m<sup>3</sup> a 15 °C. ¿Cuál es su volumen a 40 °C y a la misma presión?
29. **Calcula** el aumento de volumen de 5 L de gas cuando su temperatura aumenta 200 °C a presión constante.

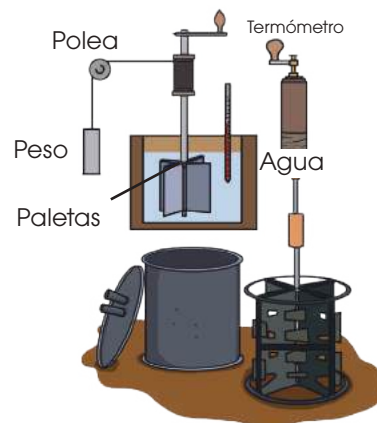
## 3. INTERCAMBIOS DE TRABAJO Y CALOR

Los cuerpos intercambian energía con el exterior en forma de trabajo o calor. Pero ¿qué relación hay entre ambos? De esta relación se ocupa una parte de la física llamada **termodinámica**. Vamos a ver cómo se producen las transformaciones de trabajo en calor y al revés.

### 3.1. Transformaciones de trabajo en calor: equivalente mecánico del calor

El principio de conservación de la energía afirma que la energía total se conserva en cualquier transformación. Así, cuando una bicicleta se detiene al accionar el freno, la disminución de energía mecánica coincide con el calor producido por el rozamiento.

El físico inglés J. P. Joule (1818-1889), en una famosa experiencia que lleva su nombre, realizada hacia 1843, comprobó que el trabajo mecánico produce los mismos efectos que el calor y determinó con exactitud la equivalencia entre los valores de ambas magnitudes.



### 3.2. Experiencia de Joule

Joule utilizó un calorímetro con una cierta masa de agua al cual incorporó unas paletas giratorias. Hizo caer un peso atado a un hilo que arrolló alrededor del eje de las paletas. El peso, al caer, hacía mover las paletas y estas agitaban el agua.

De este modo, el trabajo realizado por el cuerpo (igual a la energía potencial que pierde al caer) se empleaba en aumentar la temperatura del agua.

Tras muchas experiencias, Joule demostró que la cantidad de energía mecánica que se requiere para elevar la temperatura de 1 g de agua en 1 °C siempre es igual a 4,18 J. Es decir, una energía mecánica de 4,18 J equivale a una caloría.

$$4,18 \text{ J} = 1 \text{ cal}$$

Esta relación se conoce como equivalente mecánico del calor y nos permite estudiar cuantitativamente los procesos de transformación de trabajo en calor.

#### Y TAMBIÉN:



El hecho de que una misma cantidad de energía mecánica siempre equivale a la misma cantidad de calor constituye una prueba definitiva de que el calor es una forma de transmisión de la energía.

#### Ejemplo 11

En una experiencia similar a la de Joule, una masa de 20 kg desciende 3 m y queda en reposo. **Calcula:**

- El aporte energético que recibe el agua, en calorías.
- La temperatura final del agua del calorímetro si este contiene 700 g de agua a una temperatura inicial de 20 °C.

— Datos:  $m = 20 \text{ kg}$  ;  $h = 3 \text{ m}$  ;  $m_a = 0,7 \text{ kg}$  ;  $c_a = 4 180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ;  $t_0 = 20 \text{ °C} = 293 \text{ K}$

- El trabajo es el producto del peso por la distancia recorrida.

$$W = m \cdot g \cdot h = 20 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 3 \text{ m} = 588 \text{ J}$$

Para expresarlo en calorías aplicamos el equivalente mecánico del calor.

$$588 \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ cal}}{4,18 \text{ J}} = 140,7 \text{ cal}$$

- Hallamos la temperatura final del agua a partir de la fórmula del calor absorbido.

$$Q = m_a \cdot c_a \cdot \Delta t = m_a \cdot c_a \cdot (t - t_0) ; t = t_0 + \frac{Q}{m_a \cdot c_a}$$

$$t = 293 \text{ K} + \frac{588 \text{ J}}{4 180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 0,7 \text{ kg}}$$

$$t = 293 \text{ K} + 0,2 \text{ K} = 293,2 \text{ K} = 20,2 \text{ °C}$$

### 3.3 Primer principio de la termodinámica

Tanto el trabajo como el calor son dos formas de transferencia de energía entre un cuerpo y su medio exterior. Así, no es correcto decir que un cuerpo tiene calor, pues el calor no es una propiedad de los cuerpos. Cuando queremos referirnos a la energía que un cuerpo posee en su interior utilizamos el término energía interna.

Una **máquina mecánica** es un dispositivo que recibe el trabajo procedente de una fuerza externa y lo transmite a algún cuerpo.

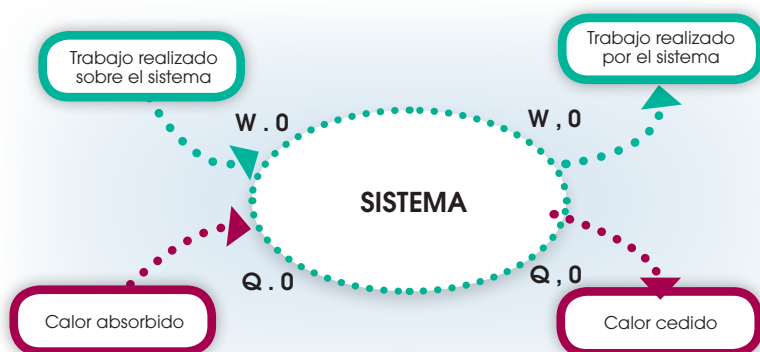
Cuando un cuerpo intercambia calor o trabajo con el medio exterior, lo hace variando su energía interna en una cantidad  $\Delta U$ .

Este principio no es más que el principio general de conservación de la energía aplicado a los intercambios de calor y trabajo en un sistema físico. Se puede enunciar de este modo:

La **variación de energía interna** de un sistema es igual a la **suma del calor,  $Q$ , y el trabajo,  $W$** , intercambiados con el exterior.

$$\Delta U = Q + W \quad \text{donde} \quad \Delta U = U - U_0$$

Por convenio, el calor absorbido por el sistema se considera positivo y el calor cedido por el sistema, negativo. En cuanto al trabajo, lo consideramos positivo si se realiza sobre el sistema y negativo si lo realiza el sistema sobre el exterior.



#### Y TAMBIÉN:

La energía interna incluye:

- La suma de las distintas energías potenciales, resultantes de las fuerzas atractivas y repulsivas entre las partículas.
- La suma de las distintas energías cinéticas, resultantes de los movimientos de traslación, rotación y vibración de las partículas.

#### TEN EN CUENTA QUE:

**Principio de conservación de la energía:**

La cantidad total de energía del universo se mantiene constante en cualquier proceso.

#### Y TAMBIÉN:

Imagina un gas contenido en un recipiente cerrado por un émbolo móvil.

- Es **positivo** el trabajo que realizamos sobre el gas en una **compresión** y **negativo** el que realiza el gas en una **expansión**.
- Es **positivo** el calor absorbido por el gas cuando **se calienta** y **negativo** el que cede cuando **se enfría**.

- Explica** qué entendemos por equivalente mecánico del calor y expresa esta equivalencia de manera cuantitativa.
- En una experiencia similar a la de Joule, una masa de 30 kg desciende 7,5 m y queda en reposo. **Calcula** el aporte energético que recibe el agua, en calorías, y su temperatura final si se dispone de 0,5 kg de agua a 18 °C.
- Si sobre el gas contenido en un recipiente se realiza un trabajo de compresión de 5 000 J y el gas disipa 1 000 cal al exterior, su energía interna ¿aumenta o disminuye? ¿En qué cantidad?
- Busca** información sobre la evolución histórica del concepto de calor y **explica** las diferencias respecto a lo que se entiende hoy día por calor.



### 3.4. Transformaciones de calor en trabajo: máquinas térmicas

Desde siempre, el ser humano ha utilizado el calor como medio de calefacción. Pero, a partir del siglo XVIII, comenzó a emplearlo también como fuente de energía para producir trabajo mecánico. La transformación de calor en trabajo fue tan importante que desencadenó la Revolución industrial.

Los dispositivos encargados de llevar a cabo esta transformación son las máquinas térmicas.

Una **máquina térmica** es un dispositivo que, actuando de manera cíclica, transforma el calor suministrado por un foco calorífico en trabajo mecánico.

#### Tipos de máquinas térmicas

Las máquinas térmicas pueden ser de dos tipos.

- De combustión externa. La combustión tiene lugar fuera de la máquina. Son de este tipo la máquina de vapor y la turbina de vapor.
- De combustión interna. La combustión tiene lugar dentro de la propia máquina. Son de este tipo los motores de explosión de cuatro tiempos o de dos tiempos y el motor diésel.

#### Rendimiento de las máquinas térmicas

La experiencia demuestra que, aunque es posible transformar íntegramente el trabajo en calor, una determinada cantidad de calor no se puede convertir en su totalidad en trabajo mecánico.

Una máquina térmica trabaja de manera cíclica de acuerdo con el esquema siguiente:

- Absorbe una cantidad de calor,  $Q_1$ , de un foco caliente.
- Transforma parte de este calor en trabajo mecánico,  $W$ .
- Cede otra parte de calor,  $Q_2$ , a un foco frío.

El rendimiento de una máquina térmica es el cociente entre el trabajo que produce y el calor que absorbe.

$$r = \frac{W}{Q_t} \quad 0 < r < 1$$

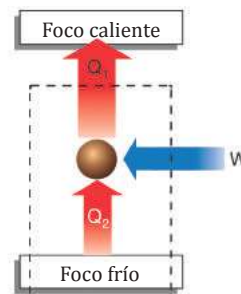
El rendimiento nunca puede llegar al 100 %, ya que ninguna máquina térmica puede transformar el calor que absorbe íntegramente en trabajo. Es por esta razón, para disipar el calor sobrante y evitar su deterioro, que los motores de los autos necesitan un sistema de refrigeración.



■ En las antiguas locomotoras de vapor, el que se generaba en la combustión ponía en movimiento los pistones, que, a su vez, impulsaban las ruedas mediante un juego de bielas.

#### Los frigoríficos

Los frigoríficos son máquinas térmicas que funcionan de modo inverso al habitual. Un frigorífico consume trabajo del exterior (energía de la red eléctrica) a la vez que absorbe calor de un foco frío (el interior del frigorífico) y cede calor a un foco caliente (el exterior del frigorífico).



34. Una máquina térmica absorbe 18 000 J de un foco caliente en cada ciclo. Si su rendimiento es del 95 %, **calcula** el trabajo que realiza y el calor que cede al foco frío en un ciclo.

Sol.: 17 100 J; 900 J

35. **Busca** información sobre la máquina de vapor de Watt y su relación con la Revolución industrial.

- **Elabora** un informe sobre la aplicación de la máquina de vapor en la industria y la locomoción.

Actividades

# Problemas resueltos



## A

Un bloque de hielo de 1 kg de masa que está inicialmente a 210 °C se pone en contacto con un foco calorífico. Después de cierto tiempo, se observa que se ha transformado totalmente en agua líquida a 20 °C.

— **Calcula** el calor total absorbido en el proceso.

*Solución*

Datos:  $m = 1 \text{ kg}$   $L_F = 333\,500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$   
 $c_{\text{hielo}} = 2\,090 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   $c_{\text{agua}} = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $t_0 = -10^\circ\text{C}$   $t_1 = 0^\circ\text{C}$   $t_2 = 20^\circ\text{C}$

El proceso se realiza en tres etapas:

a. El hielo aumenta su temperatura de 210 °C a 0 °C.

$$\Delta t = t_1 - t_0 = 0^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C}) = 10^\circ\text{C} = 10 \text{ K}$$

El calor que absorbe es:  $Q_1 = m \cdot c_{\text{hielo}} \cdot (t_1 - t_0)$

$$Q_1 = 1 \text{ kg} \cdot 2\,090 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 10 \text{ K} = 20\,900 \text{ J}$$

b. El hielo funde a la temperatura de 0 °C. El calor que absorbe es:

$$Q_2 = m \cdot L_F$$

$$Q_2 = 1 \text{ kg} \cdot 333\,500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 333\,500 \text{ J}$$

c. El agua que resulta de fundir el hielo aumenta su temperatura de 0 °C a 20 °C.

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 20^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C} = 20 \text{ K}$$

El calor que absorbe es:

$$Q_3 = m \cdot c_{\text{agua}} \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Q_3 = 1 \text{ kg} \cdot 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 20 \text{ K} = 83\,600 \text{ J}$$

El calor total absorbido en el proceso es:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 20\,900 \text{ J} + 333\,500 \text{ J} + 83\,600 \text{ J} = 438\,000 \text{ J}$$

1. A una masa de 5 kg de hielo que está a 0 °C se le comunica calor hasta que se transforma totalmente en agua líquida a 12 °C. **Calcula** el calor total absorbido en el proceso.

(Datos:  $c_{\text{agua}} = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$$c_{\text{hielo}} = 2\,090 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}; L_F = 333,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$$

2. Una masa de 1 kg de vapor de agua que está a 112 °C se enfría hasta transformarse totalmente en hielo a 215 °C. **Calcula** el calor total cedido en el proceso.

(Datos:  $c_{\text{vapor de agua}} = 2\,010 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$$c_{\text{agua}} = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}; c_{\text{hielo}} = 2\,090 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1};$$

$$L_F = 333,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}; L_V = 2\,257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$$

## B

Un cable de cobre de 3 000 m de longitud y 5 kg de masa expuesto al sol incrementa su temperatura de 15 °C a 45 °C.

**Determina:**

- La cantidad de calor absorbido por el metal.
- La longitud final del cable.

Datos:  $l_0 = 3\,000 \text{ m}$ ;  $m = 5 \text{ kg}$ ;  $t_0 = 15^\circ\text{C}$ ;  $t = 45^\circ\text{C}$   
 $c = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;  $\lambda = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

a. Hallamos el incremento de temperatura.

$$\Delta t = t - t_0 = (45 - 15)^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura tiene el mismo valor en grados centígrados y en kelvins:  $\Delta t = 30 \text{ K}$ .

Determinamos el calor absorbido por el metal.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$Q = 5 \text{ kg} \cdot 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 30 \text{ K} = 57\,750 \text{ J}$$

El calor absorbido por el metal es de 57 750 J.

b. Para hallar la longitud final del cable aplicamos la ecuación de la dilatación.

$$l = l_0 (1 + \lambda \cdot \Delta t)$$

$$l = 3\,000 \text{ m} (1 + 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 30^\circ\text{C})$$

$$l = 3\,000 \text{ m} (1 + 5,1 \cdot 10^{-4})$$

$$l = 3\,000 \text{ m} \cdot 1,0005 = 3\,001,5 \text{ m}$$

La longitud final del cable es de 3 001,5 m.

3. Un cable de cobre de 1 000 m de longitud y 1,5 kg de masa aumenta su temperatura de 20 °C a 50 °C.

**Calcula:**

- El calor absorbido por el metal.
- La longitud final.

4. Una barra de hierro de 5 m de longitud y 3 kg de masa eleva su temperatura de 210 °C a 72 °C.

**Calcula:**

- El calor absorbido por la barra.
- Su longitud final.



## C

Introducimos 200 g de cobre a 150 °C en un calorímetro que contiene medio litro de agua a 20 °C. **Calcula** la temperatura de equilibrio térmico del sistema. (Calor específico del cobre,  $c_a = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )

— **Justifica** que el resultado es coherente con los datos iniciales.

Solución

Datos:

Cobre

Agua

$$c_a = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$c_b = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$t_a = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_a = 200 \text{ g} = 0,200 \text{ kg}$$

$$m_b = 0,500 \text{ L} = 0,500 \text{ kg}$$

Temperatura de equilibrio,  $t$ : desconocida

— Se pide la temperatura de equilibrio térmico del sistema. Esta temperatura indica el final de flujo neto de calor entre las dos sustancias.

— En el equilibrio térmico, el calor cedido y el calor absorbido deben ser iguales.

- Calor cedido por el cobre:  $Q_a = c_a m_a (t_a - t)$
- Calor absorbido por el agua:  $Q_b = c_b m_b (t - t_b)$
- En el equilibrio:  $Q_a = Q_b$

— De esta expresión despejamos  $t$ :

$$c_a m_a (t_a - t) = c_b m_b (t - t_b)$$

$$c_a m_a t_a - c_a m_a t = c_b m_b t - c_b m_b t_b$$

$$c_a m_a t_a + c_b m_b t_b = c_a m_a t + c_b m_b t$$

$$c_a m_a t_a + c_b m_b t_b = (c_a m_a + c_b m_b) t$$

$$t = \frac{c_a m_a t_a + c_b m_b t_b}{c_a m_a + c_b m_b}$$

— Sustituimos los datos en la expresión anterior:

$$t = \frac{385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 0,200 \text{ kg} \cdot 150 \text{ }^\circ\text{C} + 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 0,500 \text{ kg} \cdot 20 \text{ }^\circ\text{C}}{385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 0,200 \text{ kg} + 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 0,500 \text{ kg}}$$

$$t = 24,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Respuesta

— La temperatura de equilibrio es de 24,6 °C.

— El resultado es coherente porque la temperatura de equilibrio es intermedia entre la que tenía el metal, 150 °C, y la del agua, 20 °C.

Además, esta temperatura es más cercana a la del agua, ya que ésta tiene mayor calor específico que el cobre y hemos colocado más agua en el calorímetro.

5. Razona si es posible la siguiente experiencia:

Después de introducir en un calorímetro agua a 18 °C y un cuerpo a 90 °C, la temperatura de equilibrio resultó ser 100 °C.

6. **Determina** la temperatura de equilibrio que se alcanza al mezclar 3 kg de agua a 15 °C con 5 kg de agua a 70 °C.

7. En un calorímetro que contiene 250 g de agua a 60 °C se introducen 500 g de etanol a 15 °C. **Halla** la temperatura del conjunto cuando se alcanza el equilibrio térmico. (Calor específico del etanol,  $c = 2424 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

8. Dos masas iguales de agua y de otra sustancia cuyo calor específico es  $1965 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  se hallan a 30 °C y 60 °C.

— **Determina** la temperatura final de equilibrio cuando las dos sustancias se mezclan en un calorímetro.

9. Un calorímetro contiene 1 kg de agua a 10 °C. Al introducir 0,5 kg de cierta sustancia a 25 °C dentro del calorímetro, la temperatura de equilibrio resulta ser de 11 °C. **Calcula** el calor específico de dicha sustancia.

10. Para enfriar una pieza de 200 g de cierto metal desde 800 °C a 80 °C se coloca en un calorímetro que contiene agua a 15 °C. **Calcula** la cantidad de agua que se ha empleado. (Calor específico del metal,  $c = 460 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

11. En un calorímetro que contiene agua a 18 °C se han introducido 100 g de cierto material de calor específico  $657,2 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  que están a una temperatura de 100 °C. Si la temperatura de equilibrio es de 20,5 °C, **calcula**:

- La cantidad de agua que contenía el calorímetro.
- El calor cedido por el cuerpo.



### C

Mezclamos 25 g de hielo a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 6 g de vapor de agua a  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Calcula** cuál será la temperatura de equilibrio, que supondremos corresponderá a agua en estado líquido.

Solución

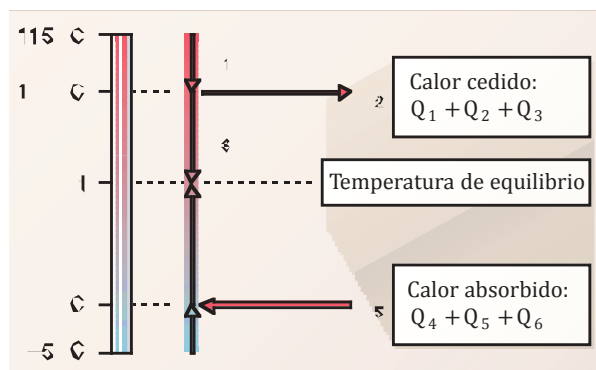
Datos:

Cobre	Agua
$c_a = 2\ 010\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$	$c_b = 4\ 180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$
$L_v = 2\ 257\ 000\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$L_f = 333\ 500\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
$m_a = 6\ \text{g} = 0,06\ \text{kg}$	$m_b = 25\ \text{g} = 0,025\ \text{kg}$
$t_a = 115\text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_b = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$c \text{ (agua líquida)} = 4\ 180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Temperatura de equilibrio,  $t$ : desconocida

- Cuando mezclamos hielo y vapor de agua, el hielo absorbe el calor que cede el vapor hasta llegar a la temperatura  $t$  de equilibrio térmico.
- El cálculo de estas cantidades de calor exige varios pasos, ya que además de un cambio de temperatura se produce un cambio de estado.
- Representamos los diferentes calores cedidos y absorbidos en el proceso.



- Calcularemos los calores absorbidos y cedidos en el proceso.
- En el equilibrio térmico, el calor cedido debe ser igual al calor absorbido.

- Calor cedido por el vapor de agua para enfriarse de  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_1 = c_a m_a (t_0 - t)$$

$$Q_1 = 2\ 010\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 0,006\ \text{kg} \cdot (115 - 100)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_1 = 180,9\ \text{J}$$

- Calor cedido por el vapor de agua al licuar a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_2 = m_a l_v = 0,006\ \text{kg} \cdot 2\ 257\ 000\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} = 13\ 542\ \text{J}$$

- Calor cedido por el agua líquida para enfriarse hasta la temperatura de equilibrio,  $t$ :

$$Q_3 = c m_a (t_0 - t)$$

$$Q_3 = 4\ 180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 0,006\ \text{kg} \cdot (100 - t)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_3 = 2\ 508\ \text{J} - 25,1\ \text{J} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} t$$

- Calor absorbido por el hielo para calentarse de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_4 = c_b m_b (t - t_0)$$

$$Q_4 = 2\ 090\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 0,025\ \text{kg} \cdot [0 - (-5)]^{\circ}\text{C}$$

$$Q_4 = 261,2\ \text{J}$$

- Calor absorbido por el hielo para fundir a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_5 = m_b L_f = 0,025\ \text{kg} \cdot 333\ 500\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} = 8\ 337,5\ \text{J}$$

- Calor absorbido por el agua líquida para calentarse hasta la temperatura de equilibrio,  $t$ :

$$Q_6 = c m_b (t - t_0) = 4\ 180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} t$$

$$Q_6 = 104,5\ \text{J} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} t$$

- Prescindimos de las unidades para mayor sencillez y planteamos la ecuación:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6$$

- Obtenemos:

$$180,9 + 13\ 542 + (2\ 508 - 25,1t) =$$

$$= 261,2 + 8\ 337,5 + 104,5 t$$

$$7\ 632,2 = 129,6 t$$

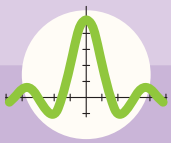
$$t = 58,9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Respuesta

La temperatura de equilibrio será  $58,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- Se mezclan 100 g de agua a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 3 g de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Calcula** la temperatura final de la mezcla suponiendo que el estado final es agua líquida.
- Halla** la temperatura a la que se alcanza el equilibrio térmico cuando se mezclan 50 g de hielo a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 300 g de agua a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Supón que el estado final es agua líquida.

- Se mezclan 5 g de vapor de agua a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 80 g de agua a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Calcula** la temperatura en el equilibrio térmico suponiendo que el estado final es agua líquida.
- Determina** la temperatura de equilibrio que se obtiene cuando se mezclan 100 g de vapor de agua a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 500 g de hielo a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Supón que el estado final es agua líquida.



# Ejercicios y problemas

## 1 Temperatura y calor

1. El cero absoluto es la temperatura teórica más baja, es imposible que la materia la pueda alcanzar. ¿Cuál puede ser su significado según el modelo cinético-molecular?
2. Un amigo te escribe desde Inglaterra y te dice que el tiempo es muy frío, pues la temperatura oscila alrededor de 37,4 °F. ¿Cuántos grados Celsius son? ¿Y Kelvins?
3. La temperatura del cuerpo humano se considera normal cuando se sitúa entre 36 °C y 37,5 °C.
  - **Expresa** estos valores en grados Fahrenheit y en Kelvins.
  - **Halla** la amplitud del intervalo de temperaturas normales en ambas escalas.
4. **Pon** un ejemplo de dos cuerpos que intercambien calor. **Identifica**:
  - a. Qué cuerpo cede calor y cuál lo absorbe;
  - b. Qué cuerpo sufre un aumento de su temperatura y cuál, una disminución.
5. ¿Qué temperatura es más elevada: 14 °C o 290 K?
6. En la página 112, se ofrece una interpretación microscópica de la temperatura en relación con la agitación térmica. ¿Serías capaz de dar una interpretación microscópica del calor a partir de esta?

## 2 Efectos del calor

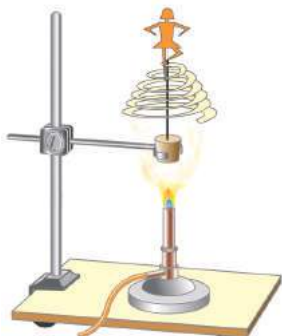
7. Se dice que el agua de los mares y océanos tiene un efecto regulador de la temperatura de la Tierra. ¿Qué significa esto? ¿Por qué es así?
8. Deseamos calentar 250 g de agua desde 20 °C hasta 50 °C. ¿Cuánto calor se requiere? Si después se enfría a 10 °C, ¿cuánto calor cede?
9. Un calorímetro contiene 100 g de agua a 6 °C. Dentro de él se coloca una pieza metálica de 700 g a 95 °C. Establecido el equilibrio, la temperatura final es de 22 °C. ¿Cuál es el calor específico del metal?
10. Muchas veces habrás observado que cuando nos duchamos se empañan los espejos del cuarto de baño. **Explica** por qué se produce este efecto y **enumera** los cambios de estado que tienen lugar en él.
11. **Determina** el calor absorbido o cedido en los siguientes procesos:
  - a. Una masa de 3,5 kg de hielo se transforma totalmente en agua líquida a una temperatura y una presión constantes de 0 °C y 1 atm.
  - b. Una masa de 1,5 kg de vapor de agua se transforma totalmente en agua líquida a una temperatura y una presión constantes de 100 °C y 1 atm.
    - **Indica** en cada caso si se trata de un calor cedido o absorbido.Datos:  $L_f = 333,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $L_v = 2 257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
12. Los raíles de acero de una línea ferroviaria en construcción miden 10 m de longitud a una temperatura de 20 °C. Si las temperaturas extremas esperadas en la zona son 210 °C y 40 °C, **calcula** la separación mínima que se debe dejar entre raíles consecutivos y el valor máximo que podría llegar a tener esta separación. (Coeficiente de dilatación lineal del acero:  $1,10 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).
13. Si mezclamos 1 kg de una sustancia a 60,0 °C con 3 kg de esa misma sustancia a 45,0 °C en un recipiente aislado térmicamente del exterior, ¿cuál será la temperatura de equilibrio de la mezcla?
14. ¿Qué magnitud física permite determinar si dos cuerpos en contacto se encuentran en equilibrio térmico?
15. **Halla** el calor latente de vaporización del etanol si 50 g de etanol absorben 10 kcal al evaporarse. **Expresa** el resultado en cal/g y en J/kg.
  - ¿Es mayor o menor que el del agua?
  - ¿Por qué al frotarnos la piel con alcohol o colonia notamos una sensación de frescor?
16. Una pieza de un puente, fabricada con un metal cuyo coeficiente de dilatación lineal es de  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , tiene una longitud de 30 m a 20 °C. **Determina** la longitud de dicha pieza a 40 °C.
17. Una pieza de hierro de 199 g está sumergida en agua. El conjunto ocupa un volumen de 1 L y se encuentra a 20 °C. **Halla** la temperatura final del sistema si se aportan 9 160 J con una fuente de calor.  
(Densidad del hierro:  $d = 7,96 \text{ g/cm}^3$ ; calor específico:  $c = 443 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).
18. **Explica** si estás de acuerdo con la siguiente afirmación: «Al cocer las verduras en agua hirviendo, podemos bajar la intensidad de la llama para ahorrar energía sin perder efectividad en la cocción».

### 3 Intercambios de trabajo y calor

19. En una experiencia similar a la de Joule, ¿qué valor tiene una masa que al descender 5 m incrementa en  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  la temperatura de 0,4 L de agua?
20. Razona de qué forma variará la energía interna de un cuerpo con la temperatura y con su masa.
21. Un gas contenido en un recipiente se expande realizando un trabajo de 10 000 J sobre el medio exterior. A la vez, se calienta incrementando su temperatura en  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si la masa de gas contenida en el recipiente es de 285 g y su calor específico es de  $1\,830\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , **calcula** la variación de la energía interna del gas en el proceso.
22. Una máquina térmica absorbe  $4,75 \cdot 10^5\text{ J}$  de un foco de calor y tiene un rendimiento del 68 %. ¿Qué trabajo mecánico realiza?
23. ¿Puede ser negativa la variación de la energía interna de un sistema? En caso afirmativo, **indica** en qué casos.
24. **Explica** qué se entiende por rendimiento de una máquina térmica. ¿Qué valores puede tomar? ¿Cuáles son sus unidades de medida?
25. Un cuerpo de 1 kg baja por un plano inclinado desde una altura de 1 m. Al llegar a la base, su velocidad es de 4,0 m/s. ¿Cuántas calorías se han disipado por rozamiento en forma de calor al desplazarse por el plano inclinado?
26. Un frigorífico absorbe en cada ciclo 14 000 J de un foco frío para lo que es necesario suministrarle un trabajo igual a 2 500 J. **Calcula** el calor que cede al foco caliente en cada ciclo. ¿Cómo se podría determinar su eficiencia?
27. **Realiza** esta experiencia en la cual construirás una máquina térmica muy sencilla.

- **Dibuja** una espiral en una hoja de papel. En el centro de la espiral pega una pequeña figurita recortada en cartón.

- **Atraviesa** el centro de la espiral con un alambre de unos 20 cm de longitud de modo que apenas sobresalga por la parte superior.



**Recorta** la espiral por la línea dibujada.

- **Pincha** el extremo inferior del alambre en un tapón de corcho. **Fija** el tapón a un lugar firme utilizando una pinza.
- **Sitúa** una fuente de calor, como un mechero, bajo el corcho y a suficiente distancia del papel para que no arda. **Observa** qué sucede cuando el aire caliente asciende.
- ¿Cuál es el foco caliente de esta máquina térmica? ¿Cuál es el foco frío? ¿Qué clase de trabajo realiza? ¿Cómo se relaciona con el calor intercambiado?

### 4 Algo más...

28. **Consulta** en una enciclopedia o en Internet los distintos modos de propagación del calor y redacta un resumen en el que se explique en qué consiste cada uno. Para ello utiliza el procesador de textos.
29. **Entra** en la página <http://goo.gl/4hzZjy> para ver la curva de calentamiento de una sustancia pura. Después, entra en la página <http://goo.gl/XFWRgi> y comprobarás cómo el calor específico del agua y del alcohol afectan al ritmo de variación de su temperatura.
30. En la página <http://goo.gl/8LUBF1> podrás aprender más sobre la experiencia de Joule y el equivalente mecánico del calor. Al final de la página se ofrece un applet con el que podrás reproducir dicha experiencia.
31. **Busca** en tu casa doce productos alimentarios cuyos envases sean distintos. **Comprueba** que en la etiqueta aparezcan la composición y el aporte energético. **Elabora** una tabla en la que figuren estos datos:

- La energía que proporcionan 100 g del producto (en kcal y kJ).
- Las cantidades de lípidos, proteínas e hidratos de carbono de cada producto, expresadas en gramos. **Calcula** los respectivos porcentajes.
- A partir de los resultados, ordena los tres tipos de nutrientes según su valor energético. **Haz** una estimación de la energía que proporciona 1 g de cada tipo de nutriente.

## DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO DE UN METAL

El calor específico de un metal puede determinarse poniendo dicho metal en contacto con otro cuerpo, por ejemplo agua, a distinta temperatura en el interior de un calorímetro.

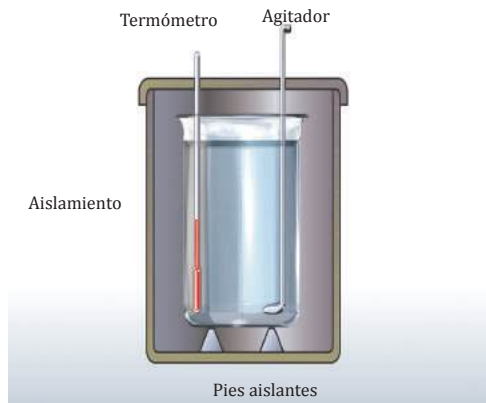
### El calorímetro

Es un recipiente aislado térmicamente del exterior, de modo que todo el calor se intercambia entre las sustancias que se introducen en él.

Se utiliza para determinar el calor específico de las sustancias. El calor absorbido por uno de los cuerpos es igual al calor cedido por el otro, si no tenemos en cuenta la cantidad de calor absorbido o cedido por el calorímetro.



<http://goo.gl/obgr9h>



### MATERIALES:

- Calorímetro provisto de termómetro y agitador.
- Balanza.
- Mechero de Bunsen.
- Trípode y rejilla.
- Termómetro.
- Probeta de 1 L.
- Vaso de precipitados de 0,5 L.
- Pinzas.
- Agua.
- Pieza de metal homogénea de 100 a 200 g.



**PROCESOS:**

1. **Mide** 1 L de agua con la probeta.
2. **Vierte** el agua en el calorímetro y ciérralo. Espera unos 2 min y **mide** la temperatura del agua del calorímetro,  $t_1$ .
3. **Pesa** en la balanza una pieza de metal de unos 100 g a 200 g.
4. **Coloca** sobre el trípode un vaso de precipitados con agua suficiente para cubrir el metal y caliéntala casi hasta ebullición con el mechero de Bunsen.
5. **Introduce** el metal en el vaso y **apaga** el mechero. Al cabo de unos 3 min, **mide** la temperatura del agua. Esta es también la temperatura del metal,  $t_2$ .
6. **Extrae** el metal del vaso con unas pinzas, introdúcelo rápidamente en el calorímetro y ciérralo.
7. **Observa** cómo aumenta la temperatura en el calorímetro. **Agita** el agua de vez en cuando y espera a que se estabilice la temperatura. Esta es la temperatura de equilibrio,  $t$ .

**Datos**

Agua	Metal
Masa $m_1 = \dots\dots\dots$	Masa $m_2 = \dots\dots\dots$
Calor específico $c_1 = \dots\dots\dots$	Calor específico $c_2 = ?$
Temperatura inicial $t_1 = \dots\dots$	Temperatura inicial $t_2 = \dots\dots$
Temperatura de equilibrio, $t = \dots\dots\dots$	

■ Tabla 5.

**Cálculo del calor específico**

- Calor absorbido por el agua:  $Q = m_1 \cdot c_1 (t - t_1)$        $m_1 \cdot c_1 (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 (t_2 - t)$
- Calor cedido por el metal:  $Q = m_2 \cdot c_2 (t_2 - t)$        $c_2 = \frac{m_1 \cdot c_1 (t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)} = \dots\dots\dots$
- En el equilibrio se cumple:

**CUESTIONES:**

- a. **Explica** cuál es la función del calorímetro en esta experiencia. ¿Por qué debe permanecer cerrado?
- b. ¿Por qué hemos de esperar unos minutos antes de medir la temperatura del metal?
- c. En un calorímetro que contiene 470 g de agua a 16 °C se introduce una pieza de 125 g de un metal que se encuentra a 90 °C. Si la temperatura de equilibrio es de 20 °C, **calcula** el calor específico del metal.



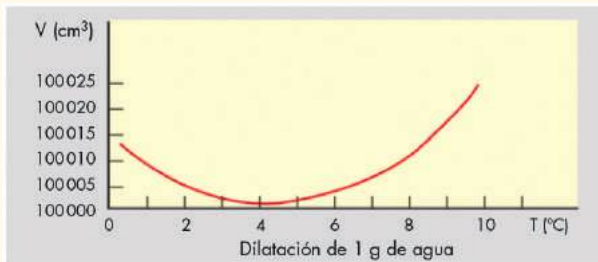


SENTIDO CRÍTICO

## LA DILATACIÓN ANÓMALA DEL AGUA

El agua presenta un comportamiento peculiar en el rango de 0 a 4 °C. Dentro de este intervalo, al disminuir la temperatura, el agua se dilata y su densidad disminuye. Al alcanzar los 0 °C (a presión atmosférica), el agua líquida se transforma en hielo y, al ser este menos denso que el agua líquida, puede flotar en ella.

Este comportamiento irregular del agua permite la vida en los lagos de zonas muy frías. Cuando en la superficie de un lago el agua empieza a congelarse, el agua que está ligeramente por encima de los 0 °C, más densa, desciende hacia el fondo, de forma que bajo la capa de hielo superficial la vida puede proseguir a una temperatura cercana a los 4 °C.



SOCIEDAD

## EL CICLO COMBINADO Y LA COGENERACIÓN DE ENERGÍA

En una **central térmica clásica**, el calor producido al quemar el combustible se utiliza para generar vapor a alta presión en una caldera. El vapor hace girar una turbina (de vapor), cuyo eje gira de forma solidaria con el de un generador (alternador) que produce la energía eléctrica. Posteriormente, el vapor es enfriado en un condensador y convertido otra vez en agua, que vuelve a los tubos de la caldera, iniciando un nuevo ciclo.

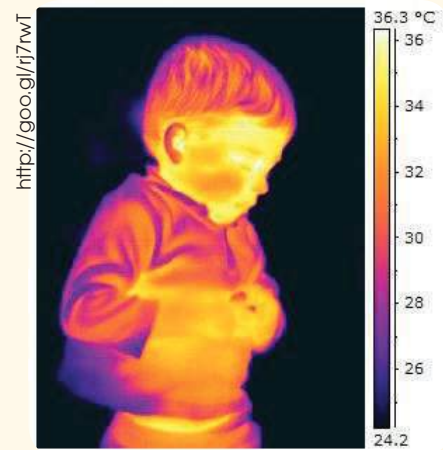
El funcionamiento de la **turbina de vapor** se basa en que al expandirse el vapor disminuye su temperatura y se reduce su energía interna. Esta reducción de la energía interna se transforma en energía mecánica por la aceleración de las partículas de vapor.

- Si la central es de **ciclo combinado**, los gases calientes producidos en la cámara de combustión se utilizan para accionar una turbina (turbina de gas) y, a la salida, se dirigen hacia una caldera para aumentar el vapor producido con el objeto de alimentar la turbina de vapor. El rendimiento de la

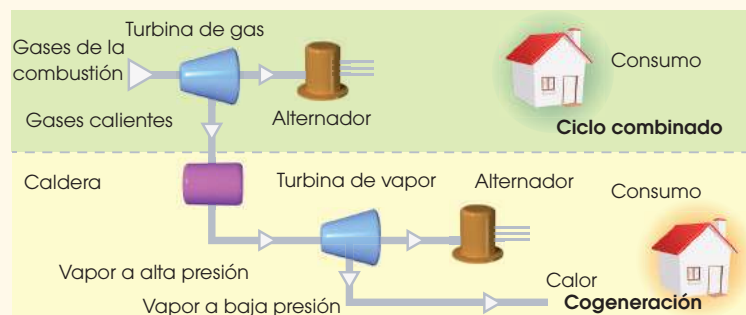
NOTICIA

## VISORES DE INFRARROJOS

Para la visión nocturna o en condiciones de poca visibilidad se utilizan las cámaras de infrarrojos. Estos dispositivos captan el calor emitido por los cuerpos en forma de radiación infrarroja. Las cámaras de infrarrojos tienen lentes fabricadas con materiales opacos a la luz visible pero transparentes a la luz infrarroja, generalmente materiales semiconductores.



conversión del calor en electricidad es aproximadamente de un 60 %.



- En la **cogeneración** de energía, la energía restante del proceso (calor de salida de las turbinas, o vapor a baja presión de la turbina de vapor) se emplea directamente en las cercanías de la central para calentar edificios o como suministro de la propia central o de otras fábricas, lo que aumenta aún más la eficiencia global del sistema, hasta el 80 %.



# Resumen

- La temperatura de un cuerpo es una medida de la agitación térmica (energía cinética) de las partículas que lo forman. Cuanto mayor es la agitación térmica, mayor es la temperatura.

## Escalas de temperatura

C: grados Celsius

$$F: \text{grados Fahrenheit} \quad \frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} \quad K = c + 273$$

K: Kelvins

- El **calor** es una forma de transmisión de la energía que se produce cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un mismo cuerpo.

- Efectos del calor:** cambios de temperatura, cambios de estado y dilatación.

- Calor absorbido o cedido con **cambio de temperatura:**

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

- El **calor específico (c)** o capacidad calorífica específica de una sustancia es el calor que debe recibir la unidad de masa para aumentar su temperatura un Kelvin.

- Cuando ponemos en contacto dos o más cuerpos a temperaturas distintas, se produce un intercambio de calor entre ellos hasta que se llega al equilibrio térmico; es decir, hasta que los cuerpos alcanzan la misma temperatura.

## Cambios de estado



Calor absorbido o cedido en un cambio de estado:

$$Q = m \cdot L$$

- La **dilatación** consiste en el aumento de volumen de un cuerpo como consecuencia de un incremento de su temperatura, por lo que su densidad disminuye.

Longitud final de un sólido que se dilata:

$$l = l_0 (1 + \lambda \cdot \Delta t)$$

- Equivalente mecánico del calor:  $4,18 \text{ J} = 1 \text{ cal}$ .
- La energía interna,  $U$ , de un cuerpo es la suma de todas las formas de energía que poseen sus partículas: átomos, moléculas e iones.
- Primer principio de la termodinámica

La variación de energía interna de un sistema es igual a la suma del calor,  $Q$ , y el trabajo,  $W$ , intercambiados con el exterior.

$$\Delta U = Q + W$$

- Una **máquina térmica** es un dispositivo que, actuando de manera cíclica, transforma el calor suministrado por un foco calorífico en trabajo mecánico.

Rendimiento de una máquina térmica:

$$r = \frac{W}{Q_1} \quad 0 < r < 1$$

- Transforma** en Kelvins y en grados Fahrenheit la temperatura de  $110 \text{ }^\circ\text{C}$
- Explica** brevemente en qué se basa el funcionamiento de un termómetro de líquido.
- Un objeto de cobre ( $c = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) de  $1,5 \text{ kg}$  que está inicialmente a  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  absorbe  $8\,085 \text{ J}$  de calor. **Halla** su temperatura final.
- Una pieza de bismuto ( $c = 123 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) de  $110 \text{ g}$  que inicialmente está a  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  se introduce en una vasija que contiene  $540 \text{ g}$  de hielo ( $c = 2\,090 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . **Determina** la temperatura de equilibrio.
- ¿Qué nombre recibe el cambio de estado que consiste en el paso de gas a líquido?
- ¿Qué cantidad de calor debemos suministrar a  $225 \text{ g}$  de agua que están a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $1 \text{ atm}$  para transformarlos totalmente en vapor de agua? ( $L_v = 2\,257\,000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
- Un hilo de cobre tiene una longitud de  $875 \text{ m}$  a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . ¿Cuál será su longitud a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ?
- Una pieza de bismuto ( $c = 123 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) de  $110 \text{ g}$  que inicialmente está a  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  se introduce en una vasija que contiene  $540 \text{ g}$  de hielo ( $c = 2\,090 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . **Determina** la temperatura de equilibrio.
- Una máquina térmica absorbe  $15\,000 \text{ J}$  de un foco de calor y cede  $4\,200 \text{ J}$  a un foco frío. **Calcula** su rendimiento.

## Para finalizar

- 1 Se mezclan 100 g de agua a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 3 g de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Calcula** la temperatura final de la mezcla suponiendo que el estado final es agua líquida.
- 2 **Halla** la temperatura a la que se alcanza el equilibrio térmico cuando se mezclan 50 g de hielo a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 300 g de agua a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Supón que el estado final es agua líquida.
- 3 Se mezclan 5 g de vapor de agua a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 80 g de agua a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Calcula** la temperatura en el equilibrio térmico suponiendo que el estado final es agua líquida.
- 4 **Determina** la temperatura de equilibrio que se obtiene cuando se mezclan 100 g de vapor de agua a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 500 g de hielo a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Supón que el estado final es agua líquida.
- 5 Supón que dejas al aire libre un vaso con agua caliente. **Describe** los cambios que experimentarán el aire y el agua al cabo de algún tiempo.  
— **Justifica** estos cambios explicando el comportamiento de las moléculas.
- 6 Mezclamos dos cantidades de agua diferentes a distintas temperaturas. **Indica** si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
  - Pasará calor desde el agua que tiene más energía interna a la que tiene menos.
  - Pasará calor desde el agua que está a más temperatura a la que está a menos.
- 7 El punto de ebullición de cierto gas es de 63 K.  
**Expresa** esta temperatura en grados Celsius y en grados Fahrenheit.
- 8 Para lograr que una pieza de 0,300 kg de cierto metal aumente su temperatura desde  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ha sido necesario suministrarle 2 299 J. **Calcula** el calor específico del metal.
- 9 **Calcula** la temperatura inicial de una pieza de 200 g de cierto metal ( $c = 459,8\text{ J}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$ ) si después de absorber 20 900 J, su temperatura ascendió a  $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 10 Una pieza de 5 kg de un determinado metal ( $c = 460\text{ J}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$ ) se enfría desde  $1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  al colocarla en agua cuya temperatura inicial era  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Calcula** la masa de agua empleada.
- 11 Colocamos en un calorímetro 0,250 kg de agua a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y 0,080 kg de un metal a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Calcula** la temperatura del equilibrio térmico si el calor específico del metal es  $878\text{ J}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$ .
- 12 **Calcula** la cantidad de calor que se intercambia al:
  - Transformar 3 L de agua líquida a  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  en vapor de agua a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Transformar 20 g de vapor de agua a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  en hielo a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**13** **Calcula** la masa de vapor de agua a 100 °C que debemos añadir a 100 L de agua líquida a 17 °C para conseguir una temperatura de equilibrio de 40 °C.

**14** Una barra de metal de 170 g tiene una longitud de 20 cm a la temperatura de 25 °C. **Calcula** su longitud cuando absorbe 4 233 J de calor. (Calor específico del metal,  $c = 498 \text{ J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ ; coeficiente de dilatación lineal del metal,  $\lambda = 3 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ )

**15** Un gas ocupa 500 cm<sup>3</sup> a 25 °C. ¿Qué volumen ocupará si se calienta a presión constante hasta 60 °C?

**16** Un motor con un rendimiento del 70 % extrae en cada ciclo 15 000 J de un foco a alta temperatura.

**Calcula:**

- El trabajo que realiza.
- El calor suministrado al foco a baja temperatura en cada ciclo.

**17** Sobre una masa de 24 kg de etanol a 10 °C realizamos un trabajo mecánico con un agitador. Si el trabajo se transforma íntegramente en calor, calcula cuánto trabajo debemos realizar para aumentar la temperatura del etanol a 75 °C. (Calor específico del etanol,  $c = 2 424 \text{ J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ )

**18** Supongamos que queremos enfriar una barra de hierro en agua. (calor específico del hierro,  $443 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , calor específico del agua,  $4 180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

- Programa en una celda la fórmula que calcule automáticamente la temperatura de equilibrio.
- Modifica** a voluntad los valores iniciales de las masas de agua y de hierro y las temperaturas iniciales, y **observa** la temperatura de equilibrio resultante.

**19** **Busca** ilustraciones que muestren el funcionamiento de la máquina de vapor y **elabora** una presentación con un programa informático.

**20** Un calentador doméstico eleva la temperatura de 5 kg de agua desde 20 °C a 80 °C en 10 min. ¿Cuántos julios proporciona el calentador en cada minuto si se supone que sólo el 80 % del calor que suministra es aprovechado realmente?

**21** Una carretilla cargada con ladrillos tiene una masa total de 23 kg y es empujada por un operario con velocidad constante. La carretilla se mueve 12 m sobre una superficie horizontal siendo el coeficiente de rozamiento en movimiento entre el suelo y la carretilla de 0,5. **Calcula:**

- la fuerza aplicada por el operario para mover la carretilla y el trabajo que realiza;
- el trabajo de la fuerza de rozamiento.
- el trabajo total sobre el sofá.

## EVALUACIÓN

Reflexiona y **autoevalúate** en tu cuaderno:

### • Trabajo personal

¿Cómo ha sido mi actitud frente al trabajo?

¿He cumplido mis tareas?

¿Qué aprendí en esta unidad?

### • Trabajo en equipo

¿He compartido con mis compañeros y compañeras?

¿He respetado las opiniones de los demás?

### • **Escribe** la opinión de tu familia.

### • **Pide** a tu profesor o profesora sugerencias para mejorar y **escribelas**.

# 6

# Ondas: el sonido y la luz

## CONTENIDOS:

### 1. Las ondas

- 1.1. Clases de ondas
- 1.2. Características de las ondas

### 2. El sonido

- 2.1. Naturaleza y propagación del sonido
- 2.2. Cualidades del sonido
- 2.3. Contaminación acústica

### 3. La luz

- 3.1. Naturaleza y propagación de la luz
- 3.2. Fenómenos luminosos
- 3.3. Aplicaciones de la reflexión y de la refracción de la luz
- 3.5. Dispersión de la luz



## Películas

El sonido, definición y propiedades.  
En éste documental se analiza cómo se propagan los impulsos de energía en las ondas sonoras, así como las magnitudes que caracterizan a las ondas sonoras.

<https://goo.gl/k8ihSJ>

## EN CONTEXTO

Después de ver el documental **responde**:

- ¿Qué es el sonido y cómo se produce?
- ¿Cómo distingue el cerebro humano los diferentes sonidos?
- Propón** un método para determinar la velocidad del sonido en el aire.

# I. LAS ONDAS



Habrás visto muchas veces que al dejar caer una piedra en un estanque se forman unas figuras circulares, las ondas, en la superficie del agua. Estas ondas se originan en el punto donde cae la piedra y se alejan de él hacia la orilla.

Si en esta situación existe un objeto flotando en el agua, como un trozo de corcho, al ser alcanzado por la vibración del agua, se desplaza arriba y abajo, pero no lo hace en la dirección de avance de las ondas. Esto indica que en la propagación de las ondas existe un transporte de energía, pero no de materia.

Este movimiento y otros muchos que se dan en la naturaleza responden a una forma de propagación similar. Reciben el nombre de movimientos ondulatorios.

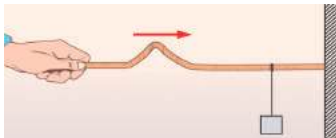
Un **movimiento ondulatorio** consiste en una forma de transmisión de la energía, sin transporte de materia, mediante la propagación de una perturbación denominada **onda**.

## 1.1. Clases de ondas

Las ondas que existen en la naturaleza se pueden clasificar atendiendo a dos criterios principales: según su naturaleza y según la dirección de la vibración transmitida.

### Y TAMBIÉN:

- La transmisión de energía en una onda se manifiesta en el incremento de energía potencial del peso cuando la vibración le alcanza.



- En el apartado 3, estudiaremos en qué consisten las ondas electromagnéticas.
- En las páginas <http://goo.gl/K11OTZ> y <http://goo.gl/pduMMT> podrás visualizar simulaciones de ondas transversales y longitudinales.

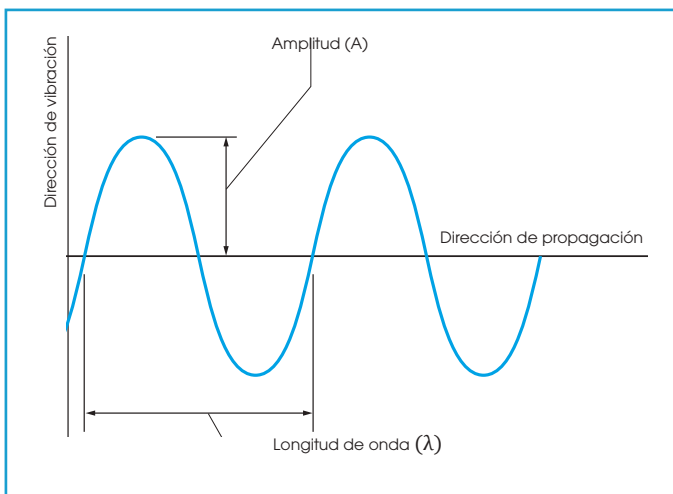
Según su naturaleza	
Ondas mecánicas	Ondas electromagnéticas
Consisten en la transmisión de una perturbación a un medio material (sólido, líquido o gas) y requieren la existencia de dicho medio material para su propagación. Ejemplos: las ondas sonoras en el aire, las ondas producidas en el agua cuando cae en ella un objeto, las de una cuerda que vibra...	Consisten en un campo electromagnético variable en el espacio y son capaces de propagarse sin necesidad de ningún medio material. Ejemplos: la luz, las ondas de radio, los rayos X...

Según la dirección de la vibración	
Ondas longitudinales	Ondas transversales
<p>Propagación de la onda</p> <p>Vibración de las partículas</p>	<p>Propagación de la onda</p> <p>Vibración de las partículas</p>
La vibración producida tiene la misma dirección que la propagación de la onda. Ejemplos: ondas sonoras...	La vibración producida es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Ejemplos: la luz, ondas en una cuerda.

## 1.2. Características de las ondas

La ilustración representa una imagen instantánea de una onda que se propaga por una cuerda. Cada punto de la cuerda vibra alrededor de una posición de equilibrio y la vibración se transmite a lo largo de toda la cuerda. Esta imagen nos permite apreciar claramente las magnitudes características del movimiento ondulatorio.

- **Amplitud de la onda (A):** valor máximo del desplazamiento de una partícula respecto de su posición de equilibrio.
- **Longitud de onda (l):** distancia entre dos puntos consecutivos que se hallan en el mismo estado de vibración.
- **Período (T):** tiempo que invierte un punto en efectuar una vibración completa. También es el tiempo que tarda la onda en avanzar una longitud de onda.



- **Frecuencia (f):** número de vibraciones que se producen por unidad de tiempo. De la definición se deduce la relación que hay entre el período y la frecuencia.

$$f = \frac{1}{T}$$

La unidad de frecuencia en el SI es el **hercio (Hz)**, igual a  $1 \text{ s}^{-1}$ .

- **Velocidad de propagación (v):** distancia a la cual se propaga la onda dividida entre el tiempo que emplea en hacerlo.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{o también} \quad v = \lambda \cdot f$$

### Ejemplo 1

**Calcula** el período y la velocidad de propagación de un movimiento ondulatorio cuya frecuencia vale 250 Hz y su longitud de onda es 1,50 m.

— Datos:  $f = 250 \text{ Hz}$      $\lambda = 1,50 \text{ m}$

Hallamos el período a partir de la frecuencia.

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{250 \text{ Hz}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Calculamos la velocidad de propagación.

$$v = \lambda \cdot f = 1,50 \text{ m} \cdot 250 \text{ s}^{-1} = 375 \text{ m/s}$$

1. **Pon** dos ejemplos de movimientos ondulatorios en los que pueda apreciarse que existe un transporte de energía, pero no de materia.
2. **Dibuja** tres ondas que cumplan estas condiciones:
  - a. La segunda onda tiene la misma longitud de onda que la primera y amplitud doble.
  - b. La tercera onda tiene frecuencia doble que la primera y la misma amplitud.
3. Un movimiento ondulatorio se propaga con una frecuencia de 25 Hz. ¿Cuál es su período?  
— Si su longitud de onda es de 0,1 m, ¿cuál será la velocidad de propagación?
4. Al dejar caer una piedra en un lago se forman ondas. Si la distancia entre dos crestas consecutivas es de 35 cm y las ondas se desplazan con una velocidad de 2,8 m/s:
  - a. ¿Cuál es la frecuencia de las ondas?
  - b. ¿Cuál es el tiempo empleado en cada vibración?

### Actividades



## Y TAMBIÉN:



### El diapasón

Consiste en una varilla de acero en forma de U. Se golpea ligeramente en una rama para hacerlo vibrar, con lo que genera una onda sinusoidal de frecuencia fija (una nota).

Para poder escucharla se debe acercar al oído o amplificarla apoyando el diapasón sobre una caja de resonancia de madera.



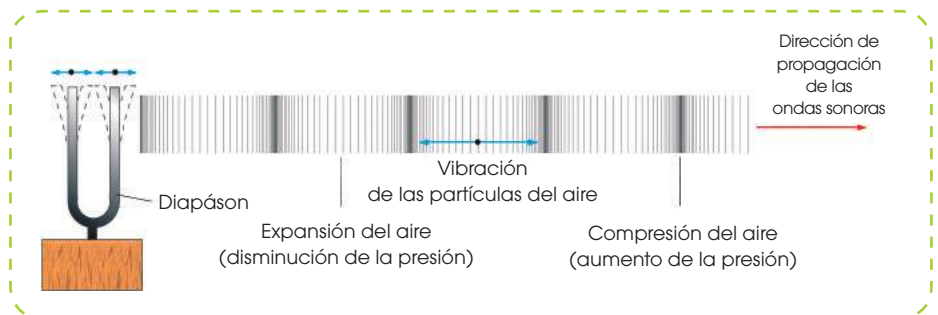
## 2. EL SONIDO

En este apartado veremos uno de los fenómenos más importantes de la naturaleza cuya transmisión tiene lugar mediante ondas: el sonido.

La **acústica** es la parte de la física que estudia la naturaleza del sonido, el modo en que se propaga y sus cualidades. Para comprender la importancia de esta ciencia basta recordar, por ejemplo, en la actualidad tienen la transmisión, la reproducción y la amplificación del sonido o las aplicaciones médicas y técnicas de los ultrasonidos.

### 2.1. Naturaleza y propagación del sonido

La imagen muestra un diapasón. Este instrumento consta de una varilla de acero en forma de U y de un mango que puede apoyarse en una caja de madera o caja de resonancia.



Si golpeamos una rama del diapasón, este vibra produciendo un sonido característico. Veamos cuál es su origen:

El movimiento vibratorio de las partículas del diapasón se transmite a las partículas próximas del aire ocasionando en este sucesivas compresiones y expansiones, semejantes a las producidas en un muelle elástico al comprimirlo y estirarlo.

En las zonas de compresión, las partículas del aire se aproximan dando lugar a un aumento de la presión, mientras que en las zonas de expansión dichas partículas se separan y la presión disminuye.

Estas perturbaciones del aire se transmiten mediante un movimiento ondulatorio hasta llegar a nuestro oído. Desde aquí se envía un estímulo al cerebro, en donde se interpreta un sonido.

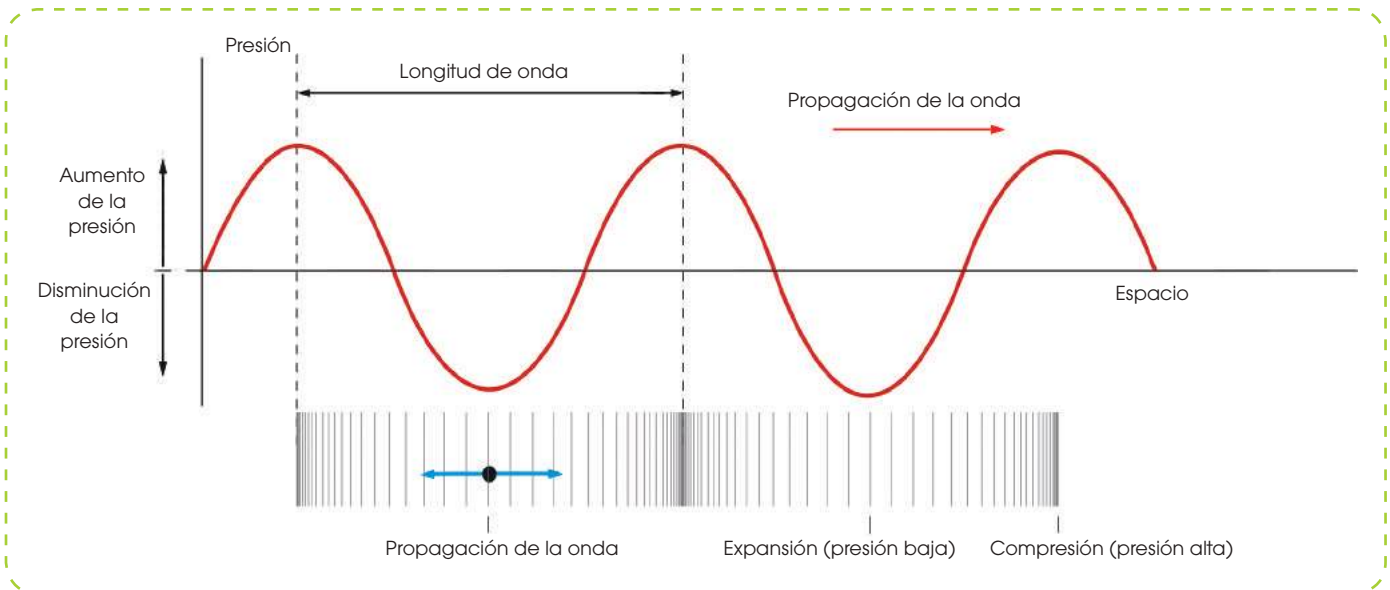
El **sonido** consiste en una forma de transmisión de la energía originada por la vibración de un cuerpo. Se propaga mediante **ondas mecánicas** y es capaz de estimular el sentido del **oído**.

La producción del sonido requiere estos tres elementos fundamentales:

- La existencia de un cuerpo que vibre, es decir, el **foco sonoro**.
- La presencia de un **medio material elástico**, es decir, capaz de recuperar rápidamente su forma inicial. Este medio permite la propagación de las perturbaciones producidas por el foco sonoro. Debido a la necesidad de un medio, el sonido se propaga por los sólidos, los líquidos y los gases pero no en el vacío.
- Un **agente receptor**, como es el oído humano, que transmite las vibraciones recibidas al cerebro, donde son interpretadas.

Las **ondas sonoras** son longitudinales, ya que las partículas del **medio** transmisor vibran en la dirección de propagación de las ondas.

Si representamos gráficamente los cambios de presión del medio en cada punto, obtenemos la curva de la imagen.



La **velocidad** con que se propaga el sonido depende de las características del **medio**. En general, la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y mayor en estos que en los gases. En el aire, el sonido se propaga a unos 340 m/s, mientras que en el agua lo hace a unos 1 460 m/s.

La velocidad del sonido es constante en el interior de un material homogéneo y se calcula mediante la expresión ya conocida:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{o bien} \quad v = \lambda \cdot f$$

T = período  
 f = frecuencia  
 $\lambda$  = Longitud de onda

**Ejemplo 2**

**Calcula** las longitudes de onda de dos sonidos que se propagan por el aire a 340 m/s si sus frecuencias valen 20 Hz y 20 000 Hz.

— Datos:  $v = 340 \text{ m/s}$   $f_1 = 20 \text{ Hz}$   $f_2 = 20\,000 \text{ Hz}$

Hallamos el período a partir de la frecuencia.

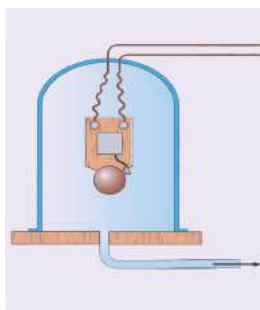
Hallamos la longitud de onda del segundo sonido.

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{20 \text{ s}^{-1}} = 17 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = \frac{v}{f_2} = \frac{340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{20\,000 \text{ s}^{-1}} = 0,017 \text{ m}$$

- En el interior de una campana de vidrio se ha colocado un timbre eléctrico. Se hace el vacío en la campana y después se acciona el timbre mediante un interruptor externo.

Razona si un observador situado junto a la campana escuchará sonar el timbre.



- Un sonido de frecuencia igual a 500 Hz se propaga en el aire ( $v = 340 \text{ m/s}$ ). ¿Cuál es la longitud de onda del sonido?
- Un sonido se propaga a través del vidrio a 5 500 m/s. La longitud de onda vale 11 m. **Calcula** el período y la frecuencia.

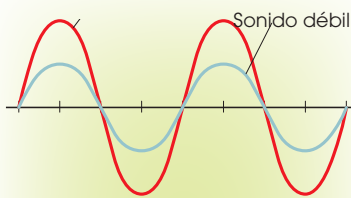
**Actividades**

## Y TAMBIÉN:

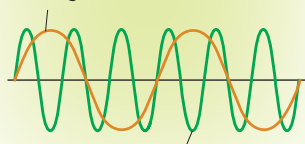


Debes evitar el uso de auriculares para escuchar música cuando conduzcas un vehículo, camines por la calle o realices ejercicio físico al aire libre en zonas con tráfico. En cualquier caso, mantén el volumen bajo y no los utilices durante un tiempo prolongado para evitar el riesgo de padecer sordera a largo plazo.

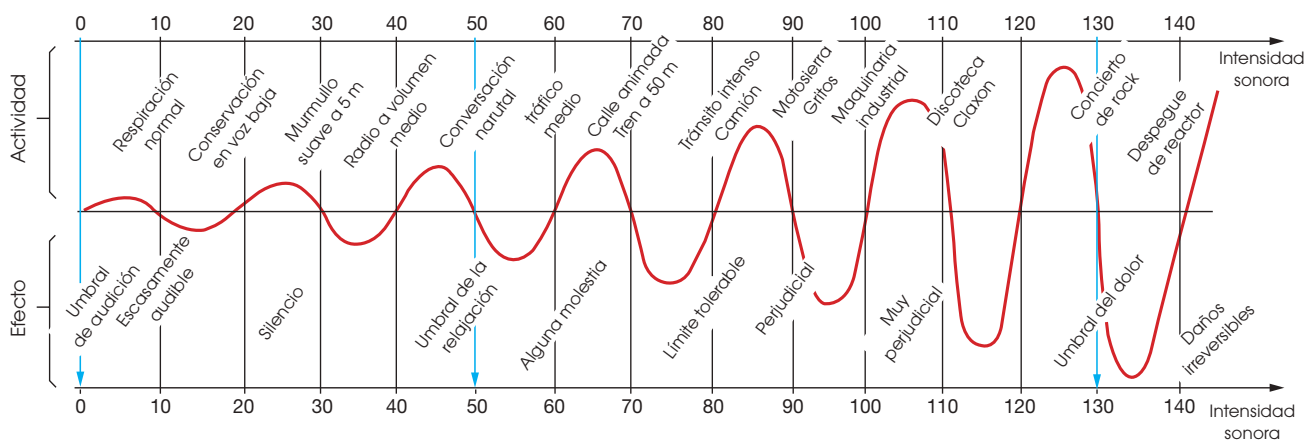
Sonido fuerte



Sonido grave



Sonido agudo



## Tono

Es la **frecuencia** de un sonido. El oído humano no puede percibir todos los tonos. El **espectro de frecuencias audibles** comprende aproximadamente desde 20 Hz hasta 20 000 Hz. Los sonidos de baja frecuencia (20-256 Hz) son graves, los de elevada frecuencia (2 000-20 000 Hz) son **agudos** y el resto son **tonos medios**. Los sonidos de frecuencia inferior a 20 Hz, o infrasonidos, y los de frecuencia superior a 20 000 Hz, o ultrasonidos, no son perceptibles.

Gracias a esta cualidad del sonido podemos distinguir las diferentes notas que emite un instrumento musical. En los instrumentos de cuerda, el tono depende de la longitud de las cuerdas. Así, las más cortas emiten sonidos agudos y las más largas, graves. El instrumentista puede variar la longitud al presionar la cuerda en diferentes lugares.

## 2.2. Cualidades del sonido

Por el sonido que llega a nuestros oídos podemos saber si un automóvil está cerca o lejos, reconocer si una voz es de hombre o de mujer, o distinguir si una nota musical procede de uno u otro instrumento musical. Todo ello es posible gracias a las cualidades del sonido: la intensidad, el tono y el timbre.

### Intensidad

Es el volumen acústico con que se percibe un sonido y corresponde a la amplitud de la onda sonora. Un sonido de gran **amplitud** es **fuerte**, mientras que uno de pequeña amplitud es **débil**. Así, un grito es un sonido fuerte, mientras que un susurro es un sonido débil.

La intensidad de un sonido disminuye a medida que se propaga. Por ello, un sonido será más intenso a una distancia de 10 m del foco emisor que a una distancia de 300 m.

El nivel de intensidad sonora que percibe el oído se mide en decibelios (dB). Un valor de 0 dB equivale al umbral de audición y uno de 120-130 dB equivale al umbral de dolor. Los sonidos de menos de 10 dB son difícilmente audibles, mientras que los superiores a 100 dB producen molestias. A partir de 140 dB podemos experimentar daños irreversibles.

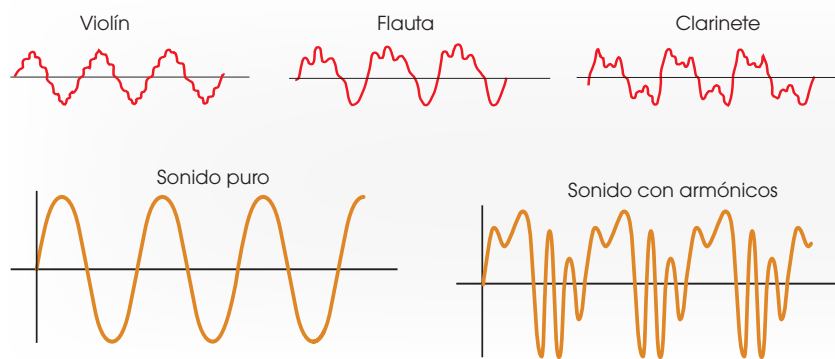
## Timbre

Es una cualidad que depende de la **forma de la onda sonora** y permite distinguir dos instrumentos diferentes que tocan un mismo tono con la misma intensidad. También gracias al timbre identificamos la voz de las personas.

El timbre depende de la forma del instrumento y del material con que está hecho. En el caso de las personas, su timbre de voz depende de las características de las cuerdas vocales, de las fosas nasales y de la cavidad bucal.

El diapasón vibra con una única frecuencia y origina una onda sonora pura. Sin embargo, en general, los sonidos están formados por una **onda principal** y unas ondas secundarias, o **armónicos**, que se superponen a la onda principal. Las diferencias entre los armónicos son las que nos permiten distinguir entre instrumentos o voces diferentes.

Observa la forma de la onda emitida por varios instrumentos musicales.



### Y TAMBIÉN:

#### La duración

Es el tiempo durante el cual se mantiene un sonido. Según su duración, un sonido puede ser largo o corto. Puede considerarse la cuarta cualidad del sonido. A diferencia de las tres anteriores no tiene incidencia en la forma de la onda.

## 2.3. Contaminación acústica

Llamamos ruido a aquellas vibraciones que, percibidas por el sistema auditivo, pueden originar molestias o lesiones de oído. Está constituido por ondas sonoras cuya frecuencia y amplitud varían sin ajustarse a ninguna pauta. Producen en el medio variaciones de presión bruscas y desordenadas.

El exceso de ruido es un auténtico problema de salud pública. Está científicamente demostrado que puede ocasionar estrés, problemas vasculares, déficit de atención, ansiedad o alteraciones del sueño. La OMS (Organización Mundial de la Salud) establece 65 dB como el límite máximo aceptable de ruido en las poblaciones. Sin embargo, se estima que 80 millones de personas están expuestos diariamente a niveles de ruido superior.

Las fuentes generadoras de ruido en el entorno urbano son diversas: obras de construcción, fábricas industriales, locales musicales, aviones..., pero, sin duda, el principal foco de ruido actual es el tráfico.

Algunas de las medidas que se están tomando para reducir la contaminación acústica en nuestras ciudades son pantallas acústicas, soportes antivibratorios, pavimento sonorreductor, silenciadores incorporados al vehículo, insonorización de auditorios...

En España, uno de los países con mayor índice de ruido del mundo, el año 2003 fue aprobada una ley conocida como Ley del ruido (ley 37/2003), cuyo objeto es prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica. Posteriormente, se dictó el Real Decreto 286/2006 que regula la protección de los trabajadores contra la exposición al ruido.

8. ¿Qué cualidad del sonido modificamos cuando ajustamos el volumen de un televisor?
9. Un violín emite la nota musical la con una frecuencia de 440 Hz y un piano, la nota do con una frecuencia de 264 Hz.
  - a. Razona cuál de las dos es más aguda.
  - b. ¿Qué podemos decir respecto de sus timbres?
  - c. **Calcula** la longitud de onda de ambos sonidos en el aire.
10. ¿Qué se entiende por contaminación acústica?
  - **Explica** sus causas, sus consecuencias y algunas medidas que permitan reducirla.

Actividades

Prohibida su reproducción

## Fenómenos causados por el movimiento de la fuente y del receptor

El sonido del claxon de un automóvil o el silbido de una locomotora de tren es más agudo al acercarse hacia nosotros y baja de tono conforme se aleja.

Este fenómeno, común a todas las ondas armónicas, aunque más conocido en las ondas sonoras, se llama efecto Doppler, en honor del físico austriaco Ch. J. Doppler (1803-1853), quien lo interpretó en 1842.

El **efecto Doppler** consiste en el cambio que experimenta la frecuencia con que percibimos un movimiento ondulatorio respecto de la frecuencia con la que ha sido originado, a causa del movimiento relativo entre la fuente y el receptor.

Veamos cuáles son los diferentes casos.

**Fuente sonora en movimiento y receptor fijo**

Supongamos que una fuente emisora puntual F, que emite con frecuencia  $f$ , se mueve respecto al medio de propagación mientras dos receptores  $R_1$  y  $R_2$  están en reposo. Consideremos, además, que F se mueve hacia  $R_1$  con velocidad constante  $v_F$  menor que la velocidad  $v$  sonido en dicho medio y que el origen del sistema de referencia es la posición inicial de F.

A medida que se producen los frentes de onda correspondientes a un mismo estado de vibración se juntan hacia  $R_1$  mientras se separan en su camino a  $R_2$ .

- El número de frentes de onda  $N$  producidos por la fuente sonora de frecuencia  $f$  en un tiempo  $\Delta t$  es  $N = f \Delta t$ .
- La distancia recorrida por la onda en ese tiempo es  $v\Delta t$ , y la distancia recorrida por la fuente,  $v_F\Delta t$ .
- La distancia ocupada por los frentes de onda entre F y el receptor  $R_1$  es  $(v - v_F)\Delta t$ , y la distancia ocupada por los frentes de onda entre F y  $R_2$ ,  $(v + v_F)\Delta t$ .
- A los dos receptores  $R_1$  y  $R_2$  les llega el mismo número de frentes de onda  $N$ , pero la longitud de onda percibida por ellos  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  (distancia entre dos frentes de onda consecutivos) no es igual:

$$\lambda_1 = \frac{(v - v_F) \Delta t}{N} = \frac{(v - v_F) \Delta t}{f \Delta t} = \frac{v - v_F}{f}; \lambda_2 = \frac{v + v_F}{f}$$

— Por tanto, las frecuencias percibidas por cada receptor,  $f_1$  y  $f_2$ , son:

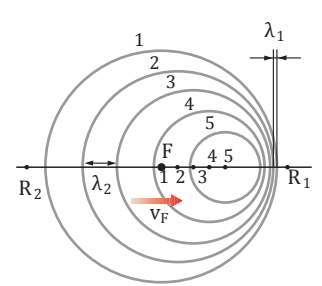
$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{\frac{v - v_F}{f}} = f \frac{v}{v - v_F}; f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{\frac{v + v_F}{f}}$$

— La frecuencia  $f_R$  percibida por los receptores en reposo cuando la fuente se mueve con velocidad constante  $v_F$  es:

$f_R = f \frac{v}{v \pm v_F}$

(-): la fuente se acerca al receptor  
(+): la fuente se aleja del receptor

Observa que la frecuencia percibida es mayor cuando la fuente se acerca al receptor y menor cuando se aleja de él.



### Y TAMBIÉN:



#### Aplicaciones del efecto Doppler

Los astrofísicos usan el efecto Doppler para determinar el movimiento relativo de los diferentes cuerpos celestes, aplicado a la luz que de ellos nos llega.

La policía de tráfico también utiliza el efecto Doppler para medir, mediante un radar, la velocidad de los automóviles en la carretera

#### Ejemplo 3

Un tren se mueve a la velocidad de  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  y la frecuencia de su silbato es de 60 Hz. **Calcula** la longitud de onda que percibe un observador inmóvil situado: a. delante del tren; b. detrás del tren. ( $v_{\text{sonido}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

- Datos:  $v_F = 50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $f = 60 \text{ Hz}$ ;  $v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

a. Longitud de onda percibida por el observador cuando el tren se acerca:

$$\lambda_R = \frac{v - v_F}{f}; \lambda_R = \frac{(340 - 50) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{60 \text{ Hz}} = \frac{290 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{60 \cancel{\text{Hz}}} = 4,8 \text{ m}$$

b. Longitud de onda percibida por el observador cuando el tren se aleja:

$$\lambda_R = \frac{v + v_F}{f}; \lambda_R = \frac{(340 + 50) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{60 \text{ Hz}} = \frac{390 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{60 \cancel{\text{Hz}}} = 6,5 \text{ m}$$

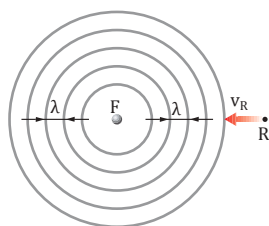
## Receptor en movimiento y fuente sonora fija

Supongamos ahora que la fuente emisora está en reposo y que el receptor se mueve con velocidad constante  $v_R$ .

En este caso, la longitud de onda no varía, pero la frecuencia percibida por el receptor es mayor si éste se acerca a la fuente  $F$  que si se aleja de ella, puesto que en el mismo intervalo de tiempo cruza a través de un mayor número de frentes de onda.

— El número total de frentes de onda que atraviesa un receptor que se acerca a la fuente  $F$ , en un tiempo  $\Delta t$ , es igual a los que atravesaría en reposo más la cantidad adicional correspondiente a su movimiento. Ambos términos son iguales a la distancia recorrida por la onda y por el receptor, respectivamente, divididos por la separación entre frentes de onda,  $\lambda$ :

$$N = \frac{v \Delta t}{\lambda} + \frac{v_R \Delta t}{\lambda} = \frac{v + v_R}{\lambda} \Delta t$$



— Si el receptor se aleja de la fuente, el número de frentes de onda recibidos será:

$$N = \frac{v \Delta t}{\lambda} - \frac{v_R \Delta t}{\lambda} = \frac{v - v_R}{\lambda} \Delta t$$

— Por lo tanto, la frecuencia percibida por el receptor, es decir, el número de frentes de onda por unidad de tiempo, es:

$$f_R = \frac{N}{\Delta t} = \frac{(v \pm v_R) \frac{\Delta t}{\lambda}}{\Delta t} = \frac{v \pm v_R}{\lambda} = \frac{v \pm v_R}{v} \cdot \frac{v}{\lambda} = f \frac{v \pm v_R}{v}$$

$$f_R = f \frac{v \pm v_R}{v} \quad \begin{array}{l} (+): \text{ el receptor se acerca a la fuente} \\ (-): \text{ el receptor se aleja de la fuente} \end{array}$$

Observa que la frecuencia percibida es mayor cuando el receptor se acerca a la fuente y menor cuando se aleja de ella.

## Fuente sonora en movimiento y receptor fijo

Combinando los dos efectos ya estudiados, podemos calcular la frecuencia percibida por el receptor cuando éste y la fuente sonora están en movimiento simultáneamente.

Primero, consideramos el efecto del movimiento de la fuente sobre la frecuencia percibida por el receptor:

$$f_R' = f \frac{v}{v \mp v_F}$$

A continuación, consideramos el efecto sobre esta última,  $f_R'$ , del movimiento del receptor:

$$f_R = f_R' \frac{v \pm v_R}{v}$$

Por tanto, la frecuencia percibida cuando se mueven fuente y receptor vale:

$$f_R = f_R' \frac{v \pm v_R}{v} = f \frac{v}{v \mp v_F} \cdot \frac{v \pm v_R}{v} = f \frac{v \pm v_R}{v \mp v_F}$$

$$f_R = f \frac{v \pm v_R}{v \mp v_F} \quad \begin{array}{l} (+): \text{ receptor se aproxima; } (-): \text{ se aleja} \\ (-): \text{ fuente se aproxima; } (+): \text{ se aleja} \end{array}$$

En resumen, siempre que la distancia entre la fuente sonora y el receptor disminuye, la frecuencia de las ondas que recibe el receptor aumenta y el tono percibido es más agudo. Si dicha distancia aumenta, la frecuencia percibida disminuye y el tono es más grave.

11. **Di** de qué tipo de ondas es propio el efecto Doppler.
12. Supón que una fuente sonora y un observador se mueven con la misma velocidad, dirección y sentido. Razona si habrá efecto Doppler.
13. El claxon de un auto que se mueve a  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  suena a  $600 \text{ Hz}$ . **Calcula** las frecuencias que percibe un observador en reposo junto a la carretera cuando el automóvil: a. se aproxima; b. se aleja.
14. La frecuencia del sonido de una sirena es de  $1000 \text{ Hz}$ . **Calcula** la frecuencia que oír el conductor de un automóvil que se desplaza a  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ :  
a. si se aproxima a la sirena.  
b. si se aleja de ella.

15. Una ambulancia se desplaza por la carretera a una velocidad de  $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  mientras hace sonar su sirena con una frecuencia de  $980 \text{ Hz}$ . **Calcula** la frecuencia que percibirá el conductor de un automóvil que circula en sentido contrario a una velocidad de  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ : a. cuando se aproxima a la ambulancia; b. cuando se aleja de ella.
16. **Calcula** la velocidad de un tren y la frecuencia de sus pitidos sabiendo que una persona en reposo junto a la vía percibe un sonido de frecuencia  $704 \text{ Hz}$  cuando el tren se acerca y de  $619 \text{ Hz}$  cuando el tren se aleja.

## 3. LA LUZ

La luz es, junto al sonido, uno de los fenómenos más importantes de la naturaleza cuya transmisión tiene lugar mediante ondas.

La óptica es la parte de la física que estudia la naturaleza de la luz, el modo en que se propaga y los fenómenos luminosos que se producen en su propagación. Para comprender la importancia de esta ciencia basta recordar la utilidad práctica de algunos instrumentos ópticos, como las gafas, la cámara fotográfica, el microscopio o el telescopio.

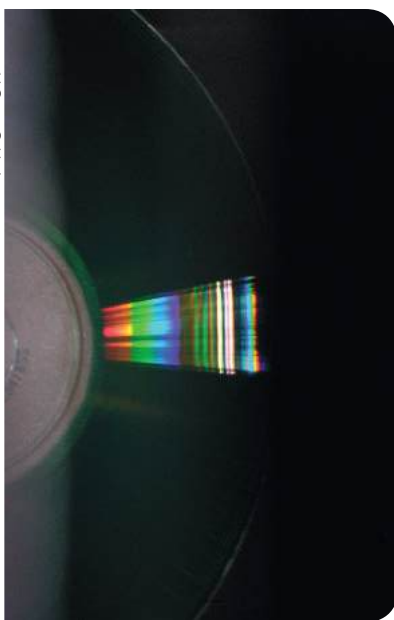
### 3.1. Naturaleza y propagación de la luz

El conocimiento de la naturaleza de la luz es un tema al que han dedicado su atención muchos científicos a lo largo de la historia de la ciencia. Hoy en día se acepta la **teoría electromagnética** del físico escocés J. C. Maxwell (1831-1879), según la cual la luz está constituida por ondas electromagnéticas que consisten en un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí que se propagan simultáneamente.

La luz procedente de un objeto se transmite mediante un movimiento ondulatorio hasta llegar a nuestros ojos. Desde allí se envía un estímulo al cerebro, donde se interpreta una imagen.

La **luz** consiste en una forma de transmisión de energía que se propaga mediante **ondas electromagnéticas** y es capaz de estimular el sentido de la **vista**.

<http://goo.gl/j8c72b>



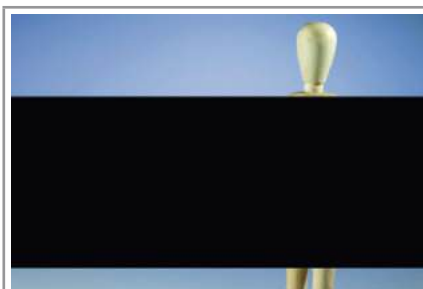
Los objetos visibles pueden ser de dos tipos: luminosos o iluminados.

- Objetos luminosos son aquellos que emiten luz propia, como una estrella o una bombilla.

La emisión de luz se debe a la alta temperatura de estos cuerpos. A partir de 500 °C los cuerpos empiezan a emitir una luz suave y rojiza. Cuanto mayor es la temperatura que alcanzan, más blanca es la luz. Los filamentos de las lámparas de incandescencia se encuentran a unos 2 500 °C de temperatura. Las estrellas alcanzan en su núcleo temperaturas de varios millones de grados Celsius.

- Objetos iluminados son aquellos que podemos ver gracias a que reflejan la luz que reciben, como un libro o un cuadro. Estos objetos no son visibles si no se proyecta luz sobre ellos.

Según su comportamiento respecto a la luz pueden ser de tres tipos:



Los cuerpos **opacos** no dejan pasar la luz a través de ellos.



Los cuerpos **translúcidos** dejan pasar la luz parcialmente.

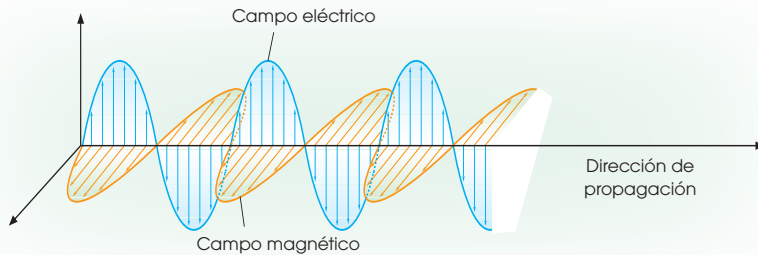


Los cuerpos **transparentes** dejan pasar totalmente la luz.

## Características de las ondas electromagnéticas

Las **ondas electromagnéticas** son **transversales**, pues las fluctuaciones de los campos eléctrico y magnético se producen en dirección perpendicular a la dirección de propagación.

Además, los campos eléctrico y magnético están en fase, es decir, ambos alcanzan su valor máximo (o mínimo) simultáneamente.



Las ondas electromagnéticas, a diferencia de las ondas mecánicas, no requieren medio material alguno para su propagación. Por eso, la luz del Sol llega a la Tierra después de recorrer una gran distancia en el vacío.

### Velocidad de propagación de la luz

La **velocidad** con que se propaga la luz depende de las características del **medio**. En el vacío (y también en el aire) es de aproximadamente  $3 \cdot 10^8$  m/s. En los demás medios la velocidad de la luz es menor. Cada medio material está caracterizado por un número que llamamos índice de refracción.

El **índice de refracción** de un medio es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicho medio.

$$n = \frac{c}{v}$$

$n$  = índice de refracción del medio  
 $c$  = velocidad de la luz en el vacío  
 $v$  = velocidad de la luz en el medio

El índice de refracción de un medio es un número mayor o igual que 1, pues la velocidad de la luz en el medio es menor o igual que  $c$ .

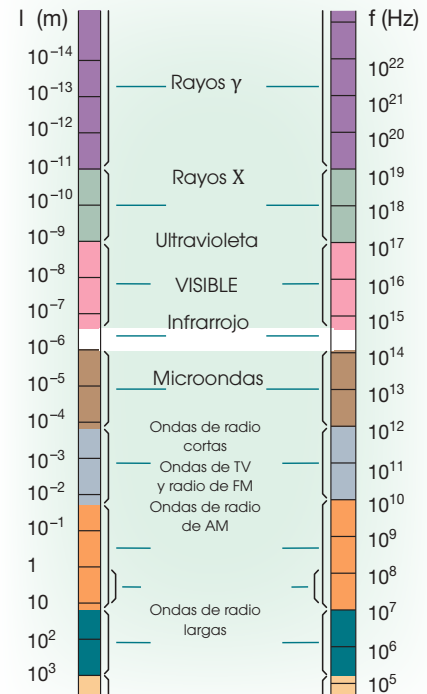
#### Ejemplo 4

El índice de refracción del agua es  $n = 1,33$ . **Determina** la velocidad de la luz en este medio.

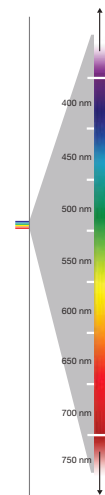
— Datos:  $n = 1,33$        $c = 3 \cdot 10^8$  m/s

Despejamos la velocidad en la definición del índice de refracción.

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,33} = 2,26 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



- La ordenación de todas las ondas electromagnéticas conocidas según su longitud de onda o su frecuencia constituye el espectro electromagnético.



- Espectro visible. Porción del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. Abarca las longitudes de onda entre 400 y 700 nm, aproximadamente.

#### Actividades

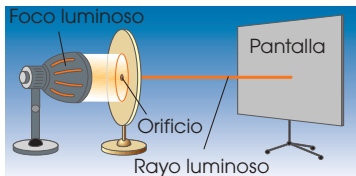
- ¿Qué se entiende por objetos luminosos? ¿Y por objetos iluminados? Pon ejemplos de ambos.
- La luz visible tiene una longitud de onda comprendida entre 400 nm y 700 nm en el aire. ¿Cuáles son estos valores en un medio con un índice de refracción igual a 1,5?
- En cierto medio de propagación, la velocidad de la luz se reduce a dos terceras partes de la velocidad de la luz en el vacío. **Determina** el índice de refracción de este medio.



## Y TAMBIÉN:



Los **rayos luminosos** son líneas rectas que representan la dirección de propagación de la luz. En la óptica geométrica se utiliza el modelo de rayos, en lugar de las ondas luminosas, para representar la trayectoria.



## 3.2. Fenómenos luminosos

Cuando la luz que se propaga en un medio llega a la superficie de separación de otro medio distinto puede experimentar ciertos fenómenos luminosos como reflexión, refracción y dispersión.

### Reflexión y refracción

Todos hemos tenido la experiencia de ver nuestra propia cara en el espejo o, también, de ver cómo un lápiz parece quebrarse al introducirlo en un recipiente con agua.

Estos dos fenómenos se deben al cambio en la dirección de los rayos luminosos. Este cambio puede darse en el mismo medio de propagación inicial (reflexión) como en el caso del espejo, o en otro medio (refracción) como en el caso del recipiente con agua.

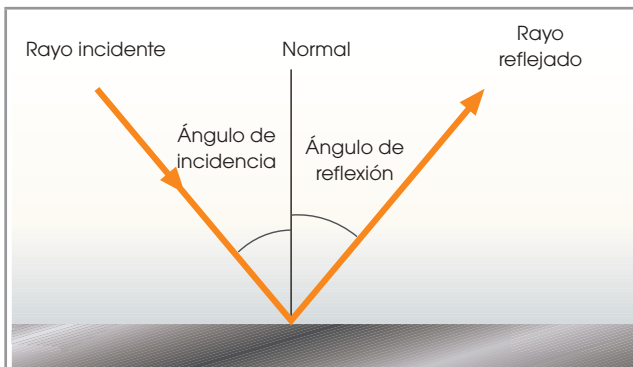


La **reflexión** es el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz tras incidir en la superficie de separación de dos medios distintos y seguir propagándose por el medio inicial.



La **refracción** es el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz cuando pasa de un medio a otro distinto.

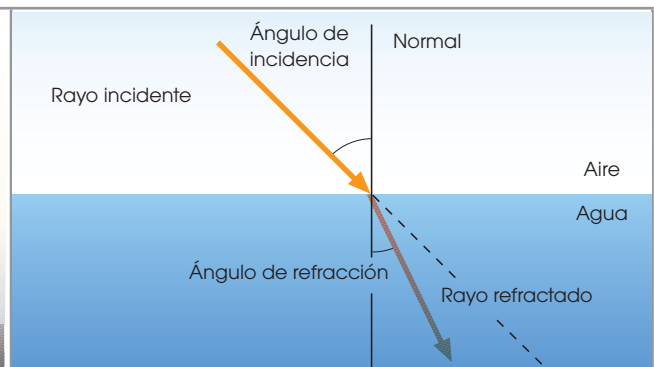
A continuación, presentamos los elementos que nos servirán para estudiar geoméricamente ambos fenómenos.



**Rayo incidente:** es el rayo que llega a la superficie de separación de dos medios.

**Normal:** línea imaginaria perpendicular a la superficie de separación de dos medios y trazada desde el punto donde el rayo incidente toca la superficie.

**Ángulo de incidencia:** el que forman el rayo incidente y la normal.



**Rayo reflejado:** es el que sale de la superficie después de la reflexión.

**Ángulo de reflexión:** el que forman el rayo reflejado y la normal.

**Rayo refractado:** es el que sale de la superficie después de la refracción.

**Ángulo de refracción:** el que forman el rayo refractado y la normal.

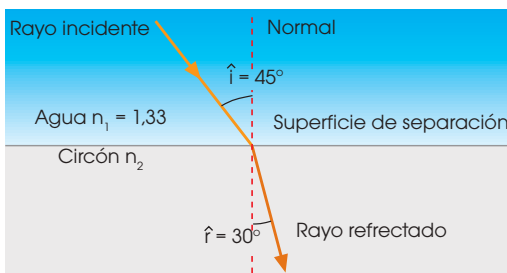
En la reflexión y la refracción de la luz se cumplen estas leyes.

Leyes de la reflexión
<p><b>Primera ley</b> El <b>rayo incidente</b>, el <b>rayo reflejado</b> y la <b>normal</b> están situados en el <b>mismo plano</b>.</p> <p><b>Segunda ley</b> El <b>ángulo de incidencia</b> y el <b>ángulo de reflexión</b> son <b>iguales</b>.</p>
Leyes de la refracción
<p><b>Primera ley</b> El <b>rayo incidente</b>, el <b>rayo refractado</b> y la <b>normal</b> están situados en el <b>mismo plano</b>.</p> <p><b>Segunda ley o ley de Snell</b> La razón entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción es una constante igual al cociente entre las velocidades de la luz en los dos medios de propagación.</p> $\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2}$ <p>La ley de Snell puede expresarse en función de los índices de refracción de ambos medios. Teniendo en cuenta que:</p> $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}, \text{ resulta: } \frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$

**Ejemplo 5**

Un rayo de luz se propaga en el agua ( $n = 1,33$ ) e incide sobre la superficie plana de un mineral de circón con un ángulo de  $45^\circ$ . Si el ángulo de refracción es de  $30^\circ$ , **calcula** el índice de refracción de este mineral.

— Datos:



Aplicamos la ley de Snell y despejamos el índice de refracción del circón:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \cdot \text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}}$$

$$n_2 = \frac{1,33 \cdot \text{sen } 45^\circ}{\text{sen } 30^\circ} = \frac{1,33 \cdot 0,7071}{0,5} = 1,88$$

$$v = \frac{c}{n}$$

El índice de refracción del circón es 1,88.

20. **Explica** las diferencias entre la reflexión y la refracción de la luz.

— **Dibuja** un esquema de ambos fenómenos luminosos e indica en él los rayos incidente, reflejado y refractado y los ángulos de incidencia, de reflexión y de refracción.

21. Si un rayo incide perpendicularmente sobre la superficie de un espejo, ¿cuál será el ángulo de reflexión?

22. Al pasar un rayo de luz de un medio a otro con mayor índice de refracción, ¿el rayo refractado se separa o se acerca a la normal?

23. Un rayo de luz se propaga por el aire y pasa a un líquido con un ángulo de incidencia de  $50^\circ$ . **Calcula** el ángulo de refracción en este líquido ( $n = 1,33$ ).

**Actividades**

### 3.3. Aplicaciones de la reflexión y la refracción de la luz

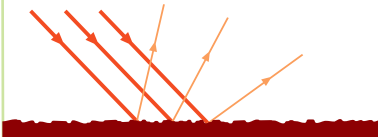
Los espejos y las lentes son instrumentos ópticos sencillos mediante los que obtenemos aplicaciones prácticas de la reflexión y la refracción de la luz.

#### Y TAMBIÉN:



La luz, al atravesar los medios, es en parte absorbida y en parte reflejada y refractada. En los espejos predomina la reflexión y en las lentes, la refracción.

#### TEN EN CUENTA QUE:



Si la superficie de un cuerpo es irregular, los rayos de luz que inciden paralelos entre sí se dispersan en todas las direcciones. Es la llamada **reflexión difusa**. Este tipo de reflexión no proporciona imágenes de los objetos.

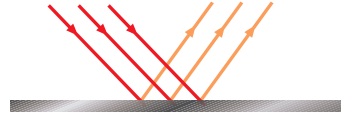
#### Y TAMBIÉN:



En un **espejo convexo**, como el del retrovisor del auto, la imagen obtenida es menor que el objeto y en un **espejo cóncavo**, como el interior de una cuchara, la imagen puede ser mayor o menor que el objeto, y derecha o invertida, según la posición del objeto.

#### Espejos

Un **espejo** consiste en una superficie perfectamente pulimentada en la cual la luz produce una reflexión especular.

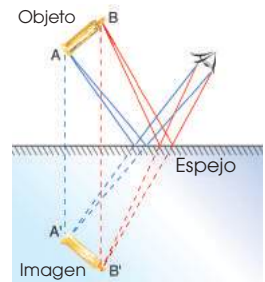


Si la superficie de un cuerpo es perfectamente lisa, todos los rayos de luz que inciden paralelos entre sí se reflejan en la misma dirección. Es la llamada **reflexión especular**. Este tipo de reflexión proporciona imágenes claras de los objetos.

La imagen se obtiene al prolongar los rayos que llegan al ojo.

En los espejos planos se forman imágenes del mismo tamaño que el objeto.

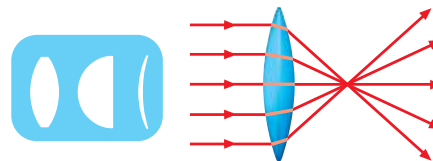
Los espejos se utilizan para obtener imágenes de objetos situados en posiciones difícilmente accesibles, como en el espejo que usa un dentista, el retrovisor del auto...



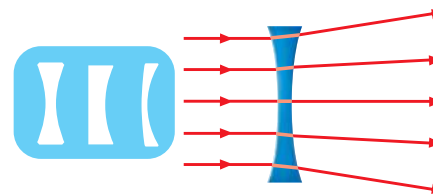
#### Lentes

Una **lente** consiste en un material transparente delimitado por una superficie esférica y una plana, o ambas esféricas. Según sea la curvatura de las lentes escogidas (cóncava o convexa), se pueden obtener lentes de dos tipos.

- Las **lentes convergentes** concentran los rayos de luz.



- Las **lentes divergentes** dispersan los rayos de luz.

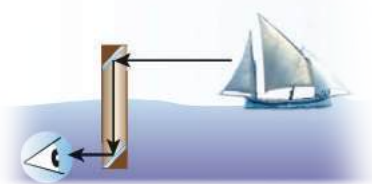


Las lentes se utilizan para corregir defectos visuales, como en las lentes de contacto o las gafas, o para obtener imágenes de los objetos, generalmente aumentadas, como en los microscopios, los telescopios...

Así pues, las lentes y los espejos (o una combinación de estos) nos permiten disponer de distintos instrumentos ópticos para en variadas circunstancias.

## Instrumentos ópticos

### Periscopio



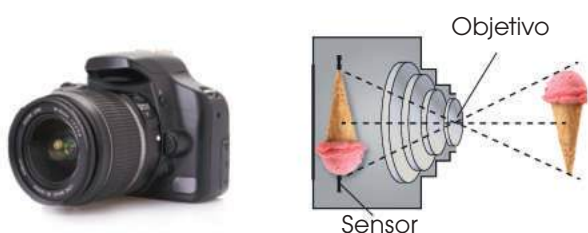
El periscopio permite ver objetos desde una posición oculta, sin ser vistos; por ejemplo, desde un submarino sumergido. Puede construirse mediante dos espejos dentro de un tubo de cartón.

### Gafas



La misión de las gafas es enfocar correctamente las imágenes de los objetos en la retina de nuestros ojos para corregir los defectos de la visión.

### Cámara de fotos



La cámara fotográfica sirve para capturar imágenes de la realidad. Posee un conjunto de lentes llamado objetivo por donde penetra la luz y que forma la imagen sobre un sensor electrónico que se ocupa de capturarla.

### Lupa



Una lupa se trata de una lente convergente que permite obtener imágenes aumentadas de los objetos cercanos.

### Microscopio



El microscopio se utiliza en biología, química o medicina para observar objetos muy pequeños. La imagen observada puede llegar a ser hasta mil veces mayor que el objeto real. Está formado por dos sistemas de lentes alineados (el objetivo y el ocular).

### Telescopio



El telescopio permite la visión de objetos muy lejanos cuya luz llega muy débil hasta nosotros. Un telescopio sencillo está formado por un tubo con una lente convergente en cada uno de sus extremos (el objetivo y el ocular).

24. ¿Qué fenómeno luminoso tiene lugar en un espejo? ¿Qué debe ocurrir para obtener imágenes claras de los objetos?

25. **Observa** tu propia imagen en la parte exterior de una cuchara metálica bien limpia. ¿Cómo es la imagen que ves? ¿Qué tipo de espejo hemos simulado?

26. Toma una lupa para observar algún pequeño detalle de un objeto. Varía la distancia entre la lupa y el objeto acercando y alejando esta sucesivamente. **Explica** qué ocurre con la imagen obtenida.

27. **Investiga** cuál es la diferencia entre un telescopio refractor y otro reflector.

Actividades

Prohibida su reproducción



### Y TAMBIÉN:



La velocidad de propagación de la luz en un medio depende de la longitud de onda de la radiación y, por tanto, el índice de refracción varía con la longitud de onda.

Se dice que un haz luminoso está polarizado linealmente cuando las vibraciones del campo eléctrico tienen lugar siempre en una dirección fija y perpendicular a la dirección de propagación de la onda ([http://www.walter-fendt.de/ph14s/emwave\\_s.htm](http://www.walter-fendt.de/ph14s/emwave_s.htm)). Los polarizadores son materiales o instrumentos capaces de polarizar la luz. Sus aplicaciones consisten en suprimir algunas de las componentes de la radiación que incide sobre ellos, reduciendo así la intensidad de la luz. Esto se utiliza, por ejemplo, en vidrios polarizados para automóviles y gafas de sol polarizadas para protección de la luz solar.

## 3.4. Dispersión de la luz

Llamamos **luz blanca** a aquella formada por toda una gama de ondas luminosas con diferentes longitudes de onda, cada una correspondiente a un color, que van del rojo al violeta.

Si un haz de luz blanca incide sobre un prisma óptico, cada onda simple presenta un ángulo de refracción distinto. Así, los componentes de la luz blanca emergen separadamente del prisma en una sucesión continua de colores llamada **espectro de la luz blanca**.

La **dispersión** de la luz consiste en la separación de la luz en sus colores componentes por efecto de la refracción.

La dispersión de la luz proporciona un procedimiento muy útil para determinar la naturaleza de una fuente luminosa, ya que cada sustancia química produce un **espectro** particular, que tendrá partes discontinuas y partes con espectros continuos. Podemos obtener espectros de absorción o espectros de emisión, según sea el caso.

La técnica de identificación de sustancias químicas a partir de sus espectros se denomina **espectroscopia** y los dispositivos utilizados para obtener el espectro se llaman **espectroscopios**. El espectroscopio más sencillo es el prisma óptico.



■ Espectro discontinuo de emisión del rubidio.

### Color de los objetos

Cuando la luz blanca llega a un cuerpo opaco, según las características de este, cada frecuencia o longitud de onda puede ser reflejada, o bien, absorbida. El **color de un objeto** depende de la luz que incide sobre él y de la naturaleza del propio objeto, es el resultado de la **absorción selectiva** de algunas de las frecuencias que componen la luz blanca. Las otras frecuencias llegan a nuestros ojos después de haber sido reflejadas.

### Ejemplo 6

- Un cuerpo es blanco cuando al ser iluminado con luz blanca no absorbe ondas luminosas de ninguna frecuencia; todas se reflejan en su superficie.
- Un cuerpo es negro cuando al ser iluminado con luz blanca absorbe todas las ondas luminosas; no se refleja ninguna en su superficie.
- Por ejemplo, un cuerpo es verde porque en su superficie se refleja la luz verde, mientras que las otras frecuencias son absorbidas.



# Problemas resueltos

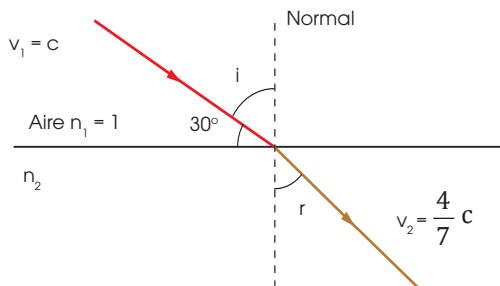


## A

Un rayo de luz que inicialmente se propaga por el aire penetra en un medio transparente con un ángulo de  $30^\circ$  respecto a la superficie de separación. Si la velocidad se reduce a cuatro séptimas partes de su velocidad inicial, determina cuál será el ángulo de refracción.

Solución

— Datos:



El ángulo de incidencia es el complementario del ángulo que forman el rayo y la superficie.

$$i = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

Calculamos el índice de refracción del segundo medio.

$$n_2 = \frac{c}{v_2} = \frac{c}{\frac{4}{7}c} = \frac{7}{4} = 1,75$$

Ahora estamos en condiciones de aplicar la ley de Snell para hallar el ángulo de refracción.

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{sen } \hat{r} = \frac{n_1 \cdot \text{sen } \hat{i}}{n_2} = \frac{1 \cdot \text{sen } 60^\circ}{1,75} = 0,4949$$

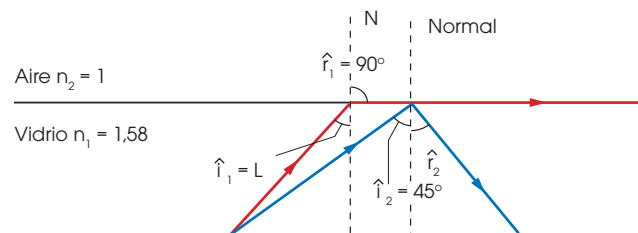
De donde se deduce que  $\hat{r} = 29,7^\circ$ .

- Un rayo luminoso que se propaga por el aire incide sobre cierto material transparente con un ángulo de  $15^\circ$  respecto a la superficie de separación. Si la velocidad en este medio es  $0,8c$ , **determina** cuál será el ángulo de refracción.
- Un rayo luminoso pasa del aire al vidrio, donde la velocidad se reduce a  $\frac{5}{8}c$ . Si el ángulo de refracción resultó ser de  $24^\circ$ , **determina** el ángulo de incidencia.

## B

Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro de índice de refracción menor, se refracta alejándose de la normal. Para cierto ángulo de incidencia, llamado ángulo límite, el ángulo de refracción vale  $90^\circ$ , y para ángulos de incidencia mayores, la luz se refleja totalmente. Es el fenómeno llamado reflexión total.

Un rayo de luz incide desde el vidrio ( $n = 1,58$ ) sobre una superficie de separación con el aire. **Determina:**  
a. El ángulo límite; b. Los ángulos de refracción y reflexión para un ángulo de incidencia de  $45^\circ$ .



— Datos:  $n_1 = 1,58$        $n_2 = 1$

a. El ángulo límite se obtiene aplicando la ley de Snell para un ángulo de refracción de  $90^\circ$ .

$$\frac{\text{sen } L}{\text{sen } 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{sen } L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,56} = 0,6329$$

De donde se deduce que  $L = 39,3^\circ$ .

b. En esta ocasión, el ángulo de incidencia,  $i_2 = 45^\circ$ , supera al ángulo límite. Esto significa que no existe rayo refractado; la luz se refleja totalmente.

El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia:

$$r_2 = i_2 = 45^\circ$$

- Un rayo de luz incide desde un medio ( $n = 1,67$ ) sobre una superficie de separación con el aire. **Determina:**  
a. El ángulo límite.  
b. Los ángulos de refracción y reflexión para un ángulo de incidencia de  $40^\circ$ .
- Un rayo de luz pasa de cierto medio transparente al aire. Si los ángulos de incidencia y refracción son  $i = 30^\circ$  y  $r = 50,4^\circ$ , **determina:**  
a. El ángulo límite.  
b. Los ángulos de refracción y reflexión para un ángulo de incidencia de  $45^\circ$ .



# Ejercicios y problemas

## 1 Las ondas

1. **Ata** el extremo de una cuerda a un soporte fijo. Coge el extremo libre de la cuerda y sepárate del soporte hasta que la cuerda quede totalmente extendida. Da un golpe seco al extremo libre de la cuerda. ¿Qué observas? ¿Cómo tienes que mover tu mano para mantener las oscilaciones en la cuerda? ¿Son ondas longitudinales o transversales?
2. **Explica** mediante un ejemplo cuáles son las magnitudes características del movimiento ondulatorio.
3. **Calcula** la frecuencia de una emisión de radio cuya longitud de onda mide 150 m. ( $v = 3 \cdot 10^8$  m/s).
4. **Explica** qué diferencia existe entre las ondas mecánicas y las ondas electromagnéticas.
5. La velocidad de las ondas de radio es  $3 \cdot 10^8$  m/s. ¿En qué longitud de onda emite una emisora si la frecuencia de las ondas es de 600 kHz?
6. **Busca** información sobre el horno de microondas y **explica** cómo funciona.
  - Al introducir un alimento en el horno de microondas, ¿cómo se transmite la energía por su interior?

## 2 El sonido

7. Las ballenas jorobadas o yubartas son conocidas, entre otros hechos, por los bellos cantos que emiten para comunicarse. **Identifica**, en este caso, los tres elementos fundamentales requeridos para la producción del sonido.
8. En algunas películas hemos visto cómo los indios pegaban el oído a las vías del tren para escuchar si el tren se aproximaba. ¿Tiene algún fundamento físico esta acción?
9. La velocidad del sonido en cierto líquido es igual a 1 200 m/s. **Calcula** el período y la longitud de onda en este medio para ondas sonoras de frecuencia igual a 2 000 Hz.
10. Dos ondas sonoras se propagan por el aire. La longitud de onda de la primera es mayor que la de la segunda. ¿Cuál de ellas es más aguda?
11. Si decimos que una fuente sonora emite un sonido de 80 decibelios, ¿a qué cualidad del sonido nos estamos refiriendo?

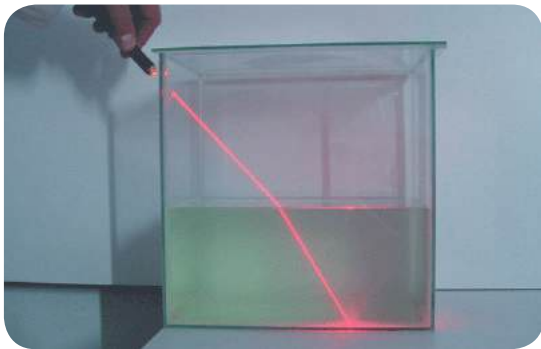
12. **Explica** qué se entiende por timbre de un sonido.

13. Un tren hace sonar su silbato. Si el sonido emitido tiene una longitud de onda de 113,3 cm, ¿cuál es su frecuencia? (Velocidad del sonido en el aire:  $v = 340$  m/s)
14. ¿Qué sonido es más intenso: un sonido grave o uno agudo?
15. Un cohete de fuegos artificiales explota a 1 km de altura sobre nosotros. **Calcula** qué tiempo tardaremos en oír el sonido de la explosión. (Velocidad del sonido:  $v = 340$  m/s)
16. La exposición al ruido es uno de los principales factores de riesgo laborales. **Busca** información sobre cuáles son los valores límite de exposición al ruido en los centros de trabajo y las medidas de prevención y de protección más importantes.

## 3 La luz

17. ¿A qué llamamos espectro electromagnético?
  - ¿En qué lugar de este se sitúa la luz visible?
18. **Determina** el valor de la velocidad de la luz en un vidrio cuyo índice de refracción vale 1,75.
19. **Calcula** el valor de la frecuencia de la luz roja cuya longitud de onda mide  $8 \cdot 10^{-7}$  m.
20. Un rayo de luz se refracta al pasar del aire ( $n = 1$ ) a cierto tipo de vidrio. Si el ángulo de incidencia es de  $20^\circ$  y el ángulo de refracción es de  $12^\circ$ , **calcula** el valor del índice de refracción del vidrio.
21. Un rayo de luz que incide perpendicularmente sobre la superficie del agua penetra en ella sin experimentar desviación alguna. **Demuestra** este hecho basándote en la expresión matemática de la segunda ley de la refracción de la luz.
22. El objetivo de una cámara fotográfica es una lente convergente. ¿Qué función cumple?
23. **Busca** información sobre la espectroscopia. **Explica** en qué consiste, qué se consigue con ella y qué clases de espectros existen.
24. Tanto el sonido como la luz son formas de energía que se propagan mediante ondas. ¿En qué se diferencian estas dos clases de ondas?

25. ¿Por qué somos capaces de ver los objetos aun cuando estos no sean emisores de luz? Explícalo desde el punto de vista de los rayos luminosos.
26. Un rayo luminoso que se propaga por un vidrio de índice de refracción 1,6 alcanza la superficie del agua con un ángulo de incidencia de  $40^\circ$ .
- Dibuja** los rayos incidente y refractado, y señala los ángulos correspondientes.
  - Calcula** el valor del ángulo de refracción. (Índice de refracción del agua: 1,33)
27. ¿Qué luz se desvía más en el prisma óptico: la luz verde o la amarilla?
28. Cuando contemplamos un recipiente con agua desde arriba el fondo parece estar a menor profundidad que la real. **Explica** este hecho teniendo en cuenta la refracción de la luz.
- ¿Qué peligro puede suponer esto en una piscina o en un río?
29. **Efectúa** esta sencilla práctica para comprobar la ley de Snell.



<http://goo.gl/VE0co>

- **Llena** una cubeta de agua turbia y aire con humo. Tápala y apóyala sobre un soporte de forma que sobresalga un poco.
  - **Dirige** un puntero láser sobre la parte inferior de la cubeta de forma que sea visible la refracción del rayo. **Fija** la posición del puntero para obtener un rayo luminoso estable.
  - **Acerca** un círculo graduado o un transportador grande a la cubeta. **Alinea** el eje del círculo graduado con la superficie de separación de los medios y **mide** los ángulos de incidencia y refracción. **Recuerda** que son los ángulos que forma el rayo luminoso con la normal.
  - **Comprueba** matemáticamente si se cumple la ley de Snell. Supón que el agua tiene un índice de refracción igual a 1,33.
- **Determina** el valor del ángulo límite aplicando la ley de Snell. **Comprueba** con el puntero que para valores del ángulo de incidencia superiores al ángulo límite se produce reflexión total.
30. **Describe** las diferencias entre un haz de luz no polarizado y el mismo haz después de atravesar un polarizador.
- ¿Por qué la luz puede ser polarizada y el sonido no?

#### 4 Algo más...

31. En las páginas siguientes puedes ver unos vídeos que te ayudarán a comprender mejor en qué consisten las ondas mecánicas y las ondas sonoras:
- <http://goo.gl/oHxEv7>
  - <http://goo.gl/bzdV3P>
  - <http://goo.gl/E3VJ4K>
32. **Busca** en una enciclopedia o en Internet las principales aplicaciones de los diferentes tipos de ondas electromagnéticas, sus riesgos y las medidas de seguridad que precisan. **Redacta** un informe utilizando el procesador de textos.
33. **Visita** la página web <http://w3.cnice.mec.es/eos/MaterialesEducativos/mem2001/sonidos> y **explica** cómo se produce el sonido en el habla y los órganos que intervienen en la fonación humana.
34. **Visita** la página web <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicalInteractiva/OptGeometrica/Instrumentos/ollo/ollo.htm> y **explica** cómo se forman las imágenes en el ojo y cuáles son los principales defectos de la visión. Además, si clicas en el enlace «Arrastrando el payaso de este applet», accederás a una aplicación sobre el proceso de acomodación del ojo.
35. **Busca** información sobre los polarizadores y sus distintas aplicaciones. **Elabora** un informe utilizando un programa de presentaciones.



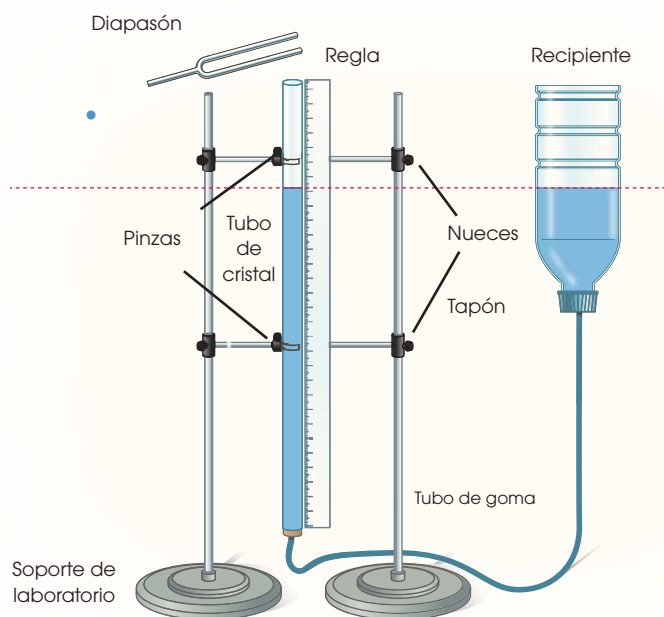
## ONDAS ESTACIONARIAS Y RESONANCIA

Las características propias del movimiento ondulatorio dan lugar a diversos fenómenos, como el de las ondas estacionarias y el de la resonancia.

Las **ondas estacionarias** se producen por la superposición en un medio de dos ondas iguales que se propagan en sentidos contrarios. De su interferencia resulta una onda que no avanza, en la que los puntos del medio vibran con la misma frecuencia de las ondas emitidas y con amplitudes distintas según su posición.

Una onda sonora en un tubo de aire de longitud  $L$  abierto por un extremo da lugar a una onda estacionaria cuando se cumple que  $L = n \cdot \lambda/4$ , con  $n = 1, 3, 5, \dots$ , y donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la onda sonora.

En cuanto a la **resonancia**, esta se produce cuando un sistema físico recibe una onda cuya frecuencia coincide con alguna de las frecuencias de vibración propias del sistema. Entonces, este absorbe la máxima energía de la onda y su amplitud de oscilación es cada vez mayor.



### MATERIALES:

- Dos diapasones de igual frecuencia conocida, mayor que 300 Hz, y dos cajas de resonancia.
- Tubo de cristal, de 2 a 3 cm de diámetro y de 1 m de longitud, abierto por sus extremos.
- Dos soportes con dos pinzas y dos dobla nueces.
- Tapón perforado del diámetro del tubo de cristal.
- Tubo de goma.
- Recipiente o botella ancha de 1 L de capacidad.
- Rotulador lavable y regla.
- Agua suficiente para llenar el tubo (aprox. 1 L).
- Una tuerca y plastilina.

## PROCESOS:

- **Primera parte** (ondas estacionarias).
  - En parejas, preparen el montaje de la figura.
  - **Introduzcan** agua en el tubo y coloquen el recipiente de recogida a una altura tal que el tubo se llene de agua hasta el borde superior.
  - Uno de los miembros de la pareja (A) golpea el diapasón con un cuerpo blando y lo coloca rápidamente sobre la boca del tubo de vidrio, acercando el oído al tubo para escuchar el sonido.
  - El otro (B) aumenta lentamente la longitud de la columna de aire en el tubo, bajando el recipiente de recogida del agua. El nivel de agua en el tubo de vidrio tiene que variar desde la posición máxima hasta el nivel cero.
  - Al ir variando el nivel, el estudiante notará que para determinadas longitudes de la columna de aire ( $L$ ) el sonido es más intenso. Con el marcador, A marcará estas posiciones.
  - **Repitan** el proceso varias veces bajando muy lentamente el nivel del agua en las proximidades de cada una de las marcas anteriores y **calculen** el valor medio de  $L$  asociado a cada marca.
- **Segunda parte** (resonancia)
  - **Coloquen** cada diapasón encima de su caja de resonancia y separados unos 30 cm de distancia.
  - **Golpeen** uno de los diapasones para que vibre y, a continuación, detengan su vibración con la mano. **Observen** qué le ocurre al otro diapasón.
  - **Repitan** el proceso colocando una tuerca con plastilina en el segundo diapasón.

## CUESTIONES:

- a. ¿Cuáles son las dos ondas que producen una onda estacionaria en el tubo de aire?
- b. A partir de los valores medios de  $L$ , **calcula** el valor de  $l$  de la onda producida por el diapasón. **Halla** también la velocidad del sonido.
- c. En la segunda parte, ¿qué ocurre al colocar la tuerca con plastilina en el segundo diapasón?
- d. **Busca** información sobre el desplome del puente Tacoma Narrows (Washington) en 1940. ¿A qué fue debido?



#### SENTIDO CRÍTICO

### INTERFERENCIAS

Cuando un punto del espacio es alcanzado simultáneamente por dos o más ondas distintas, la perturbación resultante es la superposición de ambas ondas. Este fenómeno se llama interferencia.

La interferencia se da en todo tipo de ondas y la podemos observar en nuestra vida diaria. Al lanzar dos piedras en un estanque vemos cómo interfieren las ondas en el agua; al tratar de sintonizar una radio, oímos las interferencias que producen las emisoras cercanas; y cuando se ilumina con luz blanca un CD, la distinta interferencia para cada una de sus longitudes de onda al ser reflejadas por la superficie provoca que observemos diferentes coloraciones.



<https://goo.gl/EWC1JT>

#### NOTICIA

### REFLEXIÓN DEL SONIDO

Las ondas sonoras, igual que las ondas luminosas, se reflejan en los obstáculos que encuentran en su camino. Para que tenga lugar la reflexión del sonido, los obstáculos deben ser suficientemente grandes. En caso contrario, las ondas sonoras los bordean y prosiguen su camino sin cambiar de dirección.

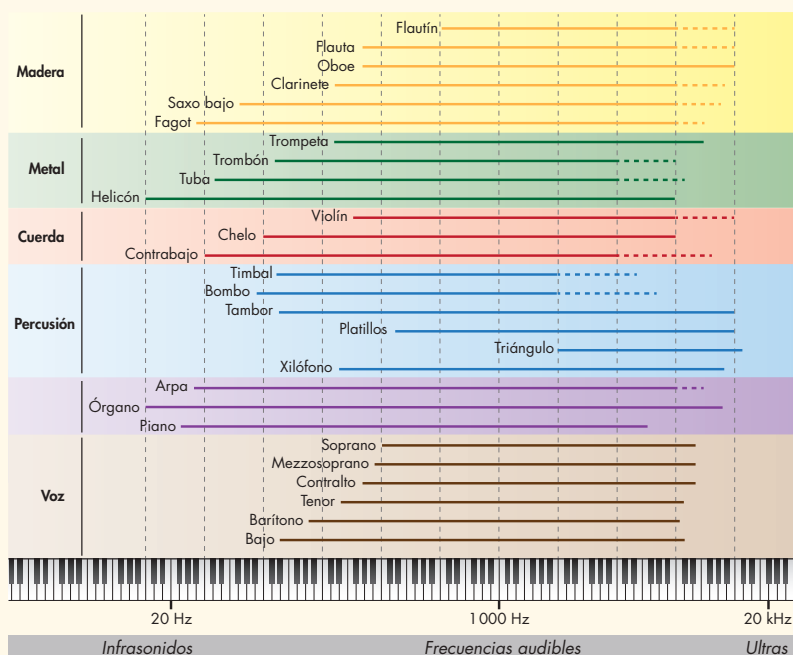
La reflexión del sonido da lugar al eco. Este fenómeno consiste en que un sonido emitido se refleja en un obstáculo y vuelve al emisor. El sonido emitido y el reflejado llegan separados y se distinguen con claridad.

El eco se percibe si el obstáculo se encuentra a una distancia superior a 17 m. A menor distancia, el observador percibe un único sonido prolongado (reverberación).

Una aplicación de la reflexión del sonido es el sónar. Este instrumento puede medir la distancia a un obstáculo, por ejemplo en el fondo del mar, a partir de la emisión, la reflexión y la detección de ultrasonidos.

#### SOCIEDAD

### EL SONIDO EN LOS INSTRUMENTOS MUSICALES



Los instrumentos musicales funcionan porque contienen un elemento que, al vibrar, produce las ondas de sonido que escuchamos. Dependiendo de la naturaleza de este elemento que vibra, se distinguen tres familias de instrumentos: cuerda, viento y percusión. En cada una de estas familias, se utilizan distintas maneras para variar la frecuencia del sonido (la nota musical) que producen: la longitud de las cuerdas, el número de agujeros por los que es expulsado el aire... En el siguiente gráfico, se puede observar el rango de frecuencias que distintos instrumentos son capaces de producir.



- Un **movimiento ondulatorio** consiste en una forma de transmisión de la energía, sin transporte de materia, mediante la propagación de una perturbación denominada **onda**.
- Las características de una onda son amplitud (A), longitud de onda ( $\lambda$ ), período (T), frecuencia (f) y velocidad de propagación (v).

$$f = \frac{1}{T}$$

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$$v = \lambda \cdot f$$

- El **sonido** consiste en una forma de transmisión de la energía originada por la vibración de un cuerpo. Se propaga mediante **ondas mecánicas** y es capaz de estimular el sentido del **oído**.
- Las cualidades del sonido son **intensidad, tono y timbre**.
- La **luz** consiste en una forma de transmisión de la energía emitida por los objetos luminosos. Se propaga mediante **ondas electromagnéticas** y es capaz de estimular el sentido de la **vista**.
- El **índice de refracción** de un medio es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicho medio.

$$n = \frac{c}{v}$$

- La reflexión es el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz tras incidir en la superficie de separación de dos medios y seguir propagándose por el medio inicial.

#### Leyes de la reflexión:

1. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están situados en el mismo plano.
  2. El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales.
- La refracción es el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz cuando pasa de un medio a otro distinto.

#### Leyes de la refracción:

1. El rayo incidente, el rayo refractado y la normal están situados en el mismo plano.
2. Ley de Snell:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$$

- La reflexión y la refracción de la luz tienen aplicación en espejos, lentes y todo tipo de instrumentos ópticos.
- La dispersión de la luz consiste en la separación de la luz en sus colores componentes por efecto de la refracción.
- El color de un objeto es el resultado de la absorción selectiva de algunas de las frecuencias que componen la luz blanca mientras que el resto se reflejan.



## Para finalizar

- 1 **Indica** las características fundamentales que distinguen a cada una de las siguientes clases de ondas: mecánicas, transversales, longitudinales, superficiales, armónicas.
- 2 En las ondas armónicas, ¿qué expresión matemática relaciona velocidad, longitud de onda y frecuencia?
- 3 Un movimiento ondulatorio longitudinal de frecuencia 500 Hz se propaga en una varilla de hierro a la velocidad de 4 500 m/s y en el aire a 340 m/s.
  - a. ¿En qué caso es mayor la longitud de onda?
  - b. ¿Cuántas veces es mayor?
- 4 ¿Qué le ocurre a la longitud de onda si se duplica el período?
- 5 ¿Qué le sucede a la velocidad de una onda en una cuerda tensa si duplicamos la frecuencia? (No se ha modificado la tensión de la cuerda.)
- 6 **Define** función de onda. De ella se dice que es doblemente periódica: respecto de la posición de las partículas y respecto del tiempo. ¿Qué quiere decir esto?
- 7 **Di** qué significa que dos partículas de un medio por el que se propaga una onda están en fase.
- 8 **Expresa** matemáticamente la energía mecánica total de una onda armónica.
  - a. ¿Cómo se deduce?
  - b. ¿Con qué unidad se mide?
- 9 Una fuente de vibraciones armónicas produce una onda en una cuerda sometida a tensión constante.

Si se duplica la potencia del movimiento ondulatorio, ¿en qué factor cambiará la amplitud? ¿Y la frecuencia?
- 10 **Elige** la opción correcta y razonable. La amplitud de una onda está relacionada con: a. la longitud de onda; b. el período; c. la frecuencia; d. la intensidad.
- 11 **Explica** a qué fenómenos se debe que disminuya la energía de una onda al alejarse del foco emisor.
- 12 **Calcula** las longitudes de onda de los ultrasonidos emitidos por los siguientes animales:
  - a. murciélago,  $f = 120\,000\text{ Hz}$  (velocidad de las ondas sonoras en el aire:  $340\text{ m} \times \text{s}^{-1}$ ).
  - b. delfín,  $f = 200\,000\text{ Hz}$  (velocidad de las ondas sonoras en el agua:  $1435\text{ m} \times \text{s}^{-1}$ ).
- 13 **Di** qué es y cómo se mide la potencia de un foco sonoro.
- 14 **Describe** qué es el umbral de audición y el umbral de dolor para las ondas sonoras. ¿Es constante cada uno de ellos o depende de la frecuencia de las ondas sonoras?
- 15 Si el nivel de intensidad sonora de un violín es de 40 dB, ¿cuántos violines serán necesarios para aumentar este nivel hasta 60 dB?

- 16 Si la intensidad de un sonido se multiplica por 100, ¿cuánto aumenta el nivel de intensidad sonora?
- 17 Una cuerda de 1,0 m de longitud y 10,0 g está sometida a una tensión de 30 N. ¿Cuál será la velocidad de propagación de una onda transversal por la cuerda?
- 18 **Calcula** la pulsación, la frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de propagación de una onda descrita por  $y = \text{sen}(0,5x - 200t + 2,5)$ , en unidades SI.
- 19 La ecuación de una onda armónica viene dada por  $y = 0,05 \text{ sen}(1992t - 6x)$ , en unidades SI.
- Calcula** la amplitud, la frecuencia y la longitud de onda.
  - Calcula** la distancia recorrida por la onda en 3 s.
  - Escribe** la ecuación de una onda idéntica a la anterior que se propague en sentido contrario.
- 20 Dada la siguiente ecuación de la onda armónica  $y = 3 \text{ sen}(8t - 0,5x)$ , **deduce**:
- la amplitud, el período, la frecuencia y la longitud de onda;
  - la velocidad de la onda y la elongación de una partícula situada en la posición  $x = +15 \text{ m}$  cuando  $t = 4 \text{ s}$ .
- 21 Una onda transversal se propaga por una cuerda según la ecuación  $y = 0,4 \text{ cos}(50t - 2x)$ , en unidades SI. **Calcula**:
- la velocidad de propagación de la onda;
  - la elongación y la velocidad de vibración de una partícula situada a 20 cm del foco en  $t = 0,5 \text{ s}$ ;
  - la elongación y la velocidad máximas.
- 22 Una onda armónica de  $f = 100 \text{ Hz}$  y  $A = 0,5 \text{ m}$  se propaga con una velocidad de 10 m/s en el sentido positivo del eje OX. Si en  $t_0 = 0$  la elongación en el origen de coordenadas es 0,5 m, halla:
- la ecuación de la onda;
  - la diferencia de fase entre dos puntos separados 0,2 m.

## EVALUACIÓN

Reflexiona y **autoevalúate** en tu cuaderno:

- Trabajo personal

¿Cómo ha sido mi actitud frente al trabajo?

¿He cumplido mis tareas?

¿Qué aprendí en esta unidad?

- Trabajo en equipo

¿He compartido con mis compañeros y compañeras?

¿He respetado las opiniones de los demás?

- **Escribe** la opinión de tu familia.

- **Pide** a tu profesor o profesora sugerencias para mejorar y **escribelas**.

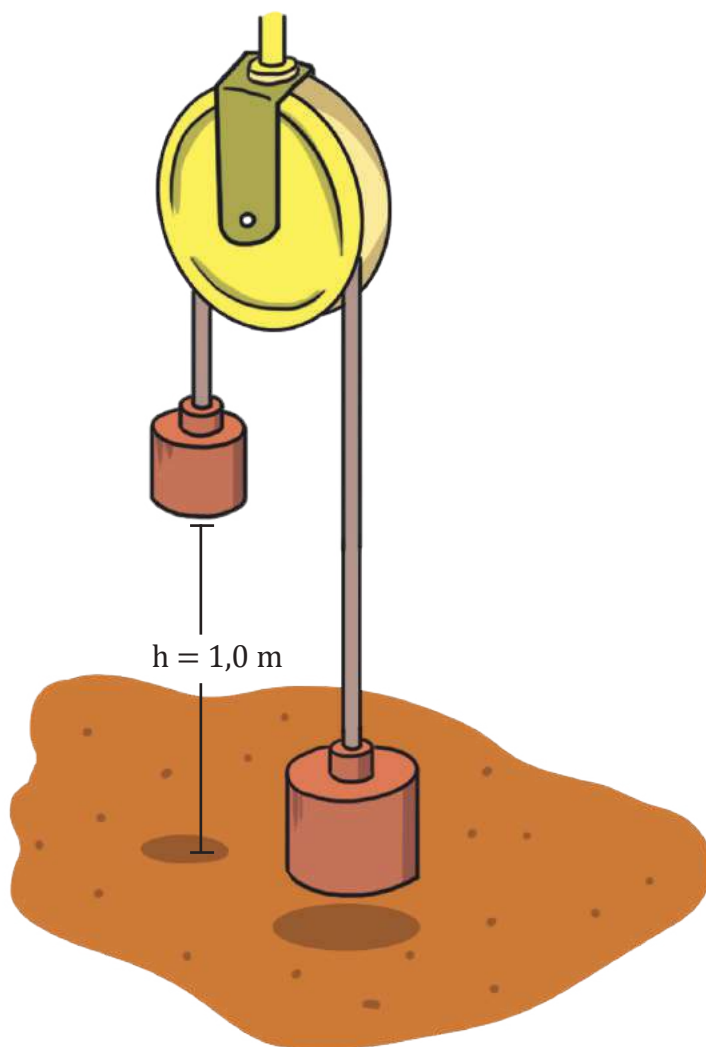
## LEY DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

### ELEGIMOS

¿Será posible comprobar la ley de conservación de la energía mecánica utilizando un sistema como el que se representa en la figura?

### 12 PLANIFICAMOS

Determinar la energía cinética, potencial y mecánica total de los cuerpos que forman el sistema de la figura para luego investigar si se cumple la ley de conservación de la energía mecánica.



### MATERIALES

- Soporte
- Hilo
- Polea
- Cronómetro
- Cinta métrica
- Dos cuerpos de igual masa
- Un cuerpo de masa pequeña
- Balanza

## DESARROLLAMOS

1. **Organiza** las actividades que debes desarrollar:

- **Determina** la masa de los cuerpos A, B y del cuerpo de masa pequeña.
- Cuando los cuerpos estén en las posiciones indicadas en la figura, **coloca** el cuerpo de masa (Ecuación) sobre el cuerpo A.
- **Determina** en estas condiciones la energía potencial y cinética de cada cuerpo, así como la energía mecánica total del sistema.
- Aplicando las leyes de Newton, **calcula** la aceleración de los cuerpos.
- **Libere** el sistema y **mide** el tiempo que tardan en llegar el cuerpo A al suelo, **repita** el experimento varias veces y lleva los valores a la siguiente tabla.

Nro. de experimento	Tiempo t (s)	Valor medio del tiempo (s)
1		
2		
N		

- Con la aceleración y el valor medio del tiempo, **determina** la velocidad con que el cuerpo A llega al suelo.
- **Determina** la energía cinética, potencial y mecánica total del sistema cuando el cuerpo A toca el suelo

2. **Explica** las siguientes cuestiones:

- Diferencias que existen entre la energía mecánica al inicio y al final, sobre la base de las incertidumbres.
- Transformaciones de energía que han tenido lugar en el experimento.

3. **Realiza** un análisis de los resultados, llega a conclusiones y preséntalo en un informe escrito.



# Un alto en el camino

- 1 El vector de posición de un móvil viene dado por la expresión  $\vec{r}(t) = (t - 3)\vec{i} - 2t^2\vec{j}$  en unidades SI. **Calcula:**
- el vector velocidad media entre los instantes  $t = 0$  s y  $t = 2$  s;
  - el vector velocidad instantánea en  $t = 2$  s.
- 2 Un móvil se desplaza por una pista circular de radio 50 m. El módulo de su velocidad aumenta según la ecuación  $v(t) = 2t + 3$ , en unidades SI. **Calcula** la aceleración tangencial y la aceleración normal en  $t = 5$  s.
- 3 Mezclamos dos cantidades de agua diferentes a distintas temperaturas. **Indica** si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
- Pasará calor desde el agua que tiene más energía interna a la que tiene menos.
  - Pasará calor desde el agua que está a más temperatura a la que está a menos.
  - Pasará calor desde el agua que tiene más masa a la que tiene menos.
- 4 Para lograr que una pieza de 0,300 kg de cierto metal aumente su temperatura desde  $40^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$  ha sido necesario suministrarle 2 299 J. **Calcula** el calor específico del metal.
- 5 Una pieza de 5 kg de un determinado metal ( $c = 460 \text{ J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ ) se enfría desde  $1\ 200^\circ\text{C}$  hasta  $40^\circ\text{C}$  al colocarla en agua cuya temperatura inicial era  $10^\circ\text{C}$ . **Calcula** la masa de agua empleada.
- 6 **Calcula** la cantidad de calor que se intercambia al:
- Transformar 3 L de agua líquida a  $24^\circ\text{C}$  en vapor de agua a  $120^\circ\text{C}$ .
  - Transformar 20 g de vapor de agua a  $100^\circ\text{C}$  en hielo a  $-10^\circ\text{C}$ .
- (**Consulta** en las tablas de las páginas 159 y 163 los datos que necesites.)
- 7 Una barra de metal de 170 g tiene una longitud de 20 cm a la temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . **Calcula** su longitud cuando absorbe 4233 J de calor. (Calor específico del metal,  $c = 498 \text{ J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ ; coeficiente de dilatación lineal del metal,  $\lambda = 3 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ )
- 8 Un motor con un rendimiento del 70 % extrae en cada ciclo 15 000 J de un foco a alta temperatura.
- Calcula:**
- El trabajo que realiza.
  - El calor suministrado al foco a baja temperatura en cada ciclo.
- 9 Un calentador doméstico eleva la temperatura de 5 kg de agua desde  $20^\circ\text{C}$  a  $80^\circ\text{C}$  en 10 min. ¿Cuántos julios proporciona el calentador en cada minuto si se supone que sólo el 80 % del calor que suministra es aprovechado realmente?
- 10 Se mezclan 100 g de agua a  $80^\circ\text{C}$  con 3 g de hielo a  $-20^\circ\text{C}$ . **Calcula** la temperatura final de la mezcla suponiendo que el estado final es agua líquida.
- 11 Se mezclan 5 g de vapor de agua a  $120^\circ\text{C}$  con 80 g de agua a  $40^\circ\text{C}$ . **Calcula** la temperatura en el equilibrio térmico suponiendo que el estado final es agua líquida.