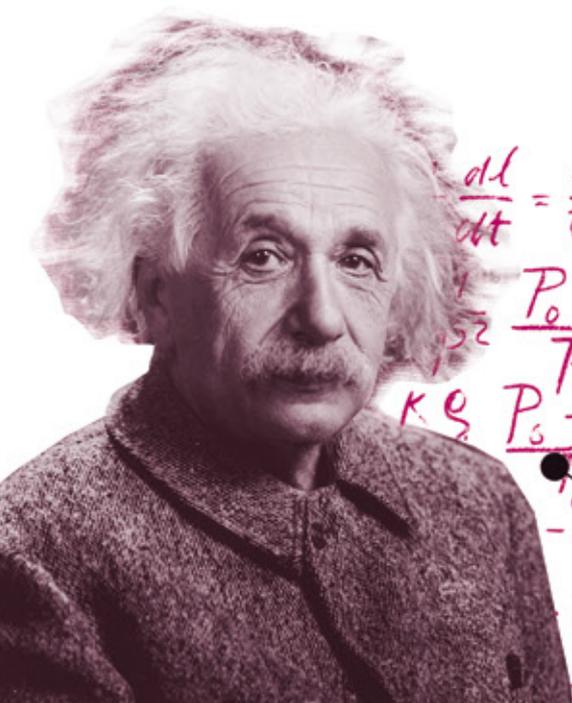


# FÍSICA



$$\frac{dl}{dt} = \frac{1}{c} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}$$

$$\frac{P_0 - P}{P} \sim \frac{1}{P^2} \quad (1a)$$

$$k \frac{P_0 - P}{P} \sim k \frac{1}{P^2} \quad (2a)$$



**Presidenta de la Nación**

Dra. Cristina Fernández de Kirchner

**Jefe de Gabinete de Ministros**

Dr. Aníbal Fernández

**Ministro de Educación**

Prof. Alberto E. Sileoni

**Secretario de Educación**

Lic. Jaime Perczyk

**Jefe de Gabinete**

A.S. Pablo Urquiza

**Subsecretario de Equidad y Calidad Educativa**

Lic. Gabriel Brener

**Directora Nacional de Fortalecimiento  
y Ampliación de Derechos Educativos**

Lic. Luana Volnovich

# FÍSICA



Presidencia  
de la Nación

Ministerio de  
Educación



**FINES**

## **FÍSICA**

Coordinadora Pedagógica de la Dirección Nacional de Fortalecimiento  
y Ampliación de Derechos Educativos

Paula Grad

Dirección Nacional de Gestión Educativa

Directora: Delia Méndez

Coordinadora de Áreas Curriculares: Cecilia Cresta

Autoría: Elba Bertozzi, Juan Carlos Muñoz, Graciela Olga Perciavalle

Supervisión de contenidos y lectura crítica: Juan Carlos Imbrogno

Coordinación autoral y lectura pedagógica: Florencia Zyssholtz

Coordinador de Materiales Educativos: Gustavo Bombini

Subcoordinadora: Alicia Serrano

Responsable de publicaciones: Gonzalo Blanco

Edición: Silvina Chauvin

Diseño y diagramación: Verónica Codina, Rafael Medel López y Leda Rensin

Producción de archivos históricos: Belén Noceti

Ilustración: Mariano Pais

Fotografía: Cristian Delicia

© 2015, Ministerio de Educación de la Nación

Pizzurno 935, CABA

República Argentina

1ª edición: julio de 2015

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Argentina. Ministerio de Educación de la Nación

Física. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Ministerio de  
Educación de la Nación, 2015.

160 p. : il. ; 29x21 cm.

ISBN 978-950-00-1094-8

1. Enseñanza Media. 2. Educación de Adultos.

CDD 373

Fecha de catalogación: 22/05/2015

# FÍSICA

Estudiante:

---

# ÍNDICE

<b>Unidad 1: La construcción de la Física</b> .....	7	Rapidez media y rapidez instantánea.....	50
Introducción.....	8	Velocidad.....	51
Preguntas orientadoras de la Unidad.....	8	Aceleración media y aceleración instantánea....	53
El universo en la antigüedad.....	9	Movimientos rectilíneos.....	55
La necesidad de unidades de medida.....	11	Caída libre.....	56
Los sistemas de medidas.....	12	Cálculo de la velocidad y de la distancia	
Las primeras civilizaciones y el plano		recorrida en caída libre.....	58
inclinado.....	13	Relación entre fuerza y movimiento.....	61
Analizando físicamente el plano inclinado.....	14	¿Qué es una fuerza?.....	61
Condición de equilibrio en el plano inclinado...	15	Fuerza y aceleración.....	62
Las poleas.....	16	Unidades de masa y de fuerza.....	64
La polea simple.....	16	El vector fuerza.....	65
La polea móvil y la ganancia de fuerza.....	17	Principio de acción y reacción.....	68
Conectando poleas: los aparejos.....	18	Una fuerza muy especial: el peso.....	71
Arquímedes: la ley de la palanca.....	20	Masa y peso.....	71
Condición de equilibrio de la palanca.....	21	Trabajo mecánico.....	74
Tipos de palancas.....	22	Actividades integradoras.....	76
La Física aristotélica.....	24	<b>Unidad 3: Una nueva interpretación de la</b>	
Las leyes aristotélicas del movimiento.....	24	<b>naturaleza de la energía</b> .....	77
La Astronomía aristotélica.....	24	Introducción.....	78
La hipótesis copernicana.....	26	Preguntas orientadoras de la Unidad.....	78
Los modelos astronómicos.....	28	Sistemas y energía.....	79
Inconvenientes que enfrentó la Física		Trabajo mecánico y energía cinética.....	81
aristotélica.....	29	Definición del concepto de energía.....	83
Un primer inconveniente: la caída de		Trabajo mecánico y energía potencial.....	84
los cuerpos.....	29	Formas de energía.....	86
Un segundo inconveniente: la inercia.....	31	¿Es el calor una forma de energía?.....	90
Un tercer inconveniente: las órbitas elípticas..	32	Energía y alimentación.....	91
La caída de la Física aristotélica: la ley de		Transformaciones de la energía.....	93
gravitación universal.....	34	La conservación de la energía mecánica.....	95
El modelo de campo.....	35	El calor: ¿un problema para la conservación	
Campo gravitatorio.....	35	de la energía?.....	96
¿Cuál ha sido la ventaja de introducir		Potencia.....	98
el modelo de campo?.....	40	Las unidades de potencia.....	99
La máquina del mundo.....	41	¿Es la electricidad una forma de energía?.....	101
Actividades integradoras.....	42	Corriente continua y alterna.....	101
<b>Unidad 2: El mundo mecánico de Newton</b> .....	43	Efectos de la corriente eléctrica.....	102
Introducción.....	44	Efecto térmico de la corriente eléctrica.....	102
Preguntas orientadoras de la Unidad.....	44	Efecto magnético de la corriente eléctrica.....	103
Problemas para describir el movimiento.....	45	La experiencia de Ørsted.....	103
El sistema de referencia.....	47	Inducción electromagnética.....	106
El cuerpo puntual.....	49	¿Cómo interpretamos estos fenómenos?.....	107

Potencia eléctrica.....	109	<b>Unidad 5: La física del siglo XXI</b> .....	141
Entonces: ¿qué es la energía?.....	110	Introducción.....	142
Un problema de vital importancia .....	111	<b>Preguntas orientadoras de la Unidad</b> .....	142
Fuentes alternativas de energía .....	112	El surgimiento de la Física moderna.....	143
<b>Actividades integradoras</b> .....	116	El físico en el mundo actual.....	143
<b>Unidad 4: Ondas: la energía y su transmisión</b> ..	117	La Física en el área biomédica .....	144
Introducción.....	118	Los rayos X.....	144
<b>Preguntas orientadoras de la Unidad</b> .....	118	Medicina nuclear y radioterapia .....	145
Ondas mecánicas .....	119	Otros dispositivos de diagnóstico por imágenes..	146
Velocidad de propagación y ondas periódicas ..	120	La energía nuclear .....	148
El sonido .....	123	Astrofísica .....	150
Comportamiento de las ondas frente a		El origen del universo .....	151
un obstáculo.....	125	¿Hay fuego en el Sol?.....	152
Velocidad del sonido .....	127	La astrofísica y la ciencia ficción .....	153
La energía radiante .....	129	El láser: una marca del siglo XX.....	154
Propiedades de la luz y modelos		Aplicaciones pacíficas del láser .....	155
explicativos.....	130	Láser y desarrollo militar.....	155
La velocidad de propagación de la luz.....	135	<b>Actividades integradoras</b> .....	157
La luz como onda electromagnética .....	136	Bibliografía .....	159
<b>Actividades integradoras</b> .....	139	Créditos de imágenes .....	160

## ¿CÓMO ES ESTE LIBRO?

A lo largo del módulo Física, usted irá encontrando diversos elementos que lo ayudarán a estudiar, relacionar e integrar los temas que en él se desarrollan. Cada una de estas herramientas didácticas se encuentra destacada mediante un ícono. Los distintos íconos que aparecen en el módulo son:



SABÍA QUE...



MÁS INFO



ACTIVIDAD



FRAGMENTOS (de textos, notas periodísticas y diversas fuentes)



ACTIVIDAD INTEGRADORA



# UNIDAD 1

## La construcción de la Física

“Preferiría comprender una sola causa  
que ser Rey de Persia”.

Demócrito de Abdera

(Filósofo griego aprox. 460 a.C. - 370 a.C.)

# INTRODUCCIÓN

Basta con mirar a nuestro alrededor para encontrarnos con energía eléctrica, *compact discs*, computadoras, vacunas, ruedas, cubiertos e incontables productos científicos y tecnológicos. Infinidad de elementos y conocimientos de los que disponemos hoy en la sociedad nunca se hubiesen alcanzado sin el desarrollo de la ciencia y de la tecnología.

Sin embargo, gran cantidad de los logros científico-tecnológicos fueron obtenidos no sin grandes inconvenientes, controversias, contradicciones, idas y venidas. Incluso, en muchos casos, se produjeron discordias y luchas porque, en palabras de Francis Bacon (1561-1626), “el conocimiento es poder”.

Es cierto que la construcción del conocimiento científico no es un camino sencillo, ni siempre se lleva a cabo con el objetivo del bienestar humano, pero también es muy cierto que gracias a nuestros conocimientos actuales millones de personas podemos vivir en mejores condiciones que las que existían en otras épocas.

Y como la Física, una de las denominadas “ciencias de la naturaleza”, tiene mucho que ver con la forma en que vivimos hoy, te proponemos recorrer su fascinante historia, desde sus orígenes hasta la actualidad.

Las preguntas que siguen le servirán de guía para orientarse en el desarrollo de esta unidad:

- ¿Cómo surgen los descubrimientos? ¿Son siempre fruto de la observación?
- ¿Debemos considerar el error como algo indeseable al trabajar en física?
- ¿Qué son los modelos y cuál es su importancia en el desarrollo de la física?
- ¿Cuál es el lugar que tiene la matemática en el campo de la física?
- ¿Cómo se construyeron los conceptos básicos de velocidad, aceleración y fuerza, entre otros?

## EL UNIVERSO EN LA ANTIGÜEDAD

Nuestra imagen actual del universo tiene, en líneas generales, apenas unos pocos siglos de vida, y en muchos aspectos incluso menos tiempo.

Desde la antigüedad y hasta mediados del siglo XVI, el universo fue considerado como un cosmos, como una unidad ordenada (del griego *kósmos*, "orden"), donde cada elemento, incluso el ser humano, ocupaba el lugar que le correspondía.

Cada civilización elaboró su propia imagen del cosmos a partir de las experiencias directas de sus integrantes, del territorio en el que vivían y de las actividades que desarrollaban cotidianamente. De esta manera surgieron distintas cosmologías, algunas similares entre sí y otras diferentes, que explicaban mediante mitos no sólo las leyes del universo, sino también su origen, su evolución e, incluso, por qué es tal como es y no de otra forma.

En la mayoría de las civilizaciones antiguas, el Sol, la Luna y los demás astros llegaron a ser considerados dioses, y fueron transformados en objetos de adoración. Las lluvias, las inundaciones, los vientos, el día, la noche y los demás fenómenos naturales se explicaron a partir de causas divinas. La ira de los dioses, atribuida en muchos casos al comportamiento inapropiado de los seres humanos, era la responsable de catástrofes de todo tipo, como tempestades, incendios, sequías y escasez de alimentos. De la misma manera eran explicados por medio de los favores de los dioses las cosechas abundantes, el clima favorable y la fertilidad de las mujeres. Estas explicaciones dieron lugar al surgimiento de los ritos para aplacar a los dioses enfurecidos, para agradecer sus bondades, pedir sus favores y ofrecerles tributos.

A partir del asentamiento de familias y grupos humanos en lugares fijos surgió la agricultura, con la consiguiente necesidad del cultivo de la tierra, así como de la caza, la pesca, la cría y la reproducción de animales domésticos, entre otras actividades dirigidas a la subsistencia. Se fue profundizando también la necesidad de conocer y determinar de modo más preciso los distintos momentos del día y las épocas del año más convenientes para la realización de las diferentes tareas.

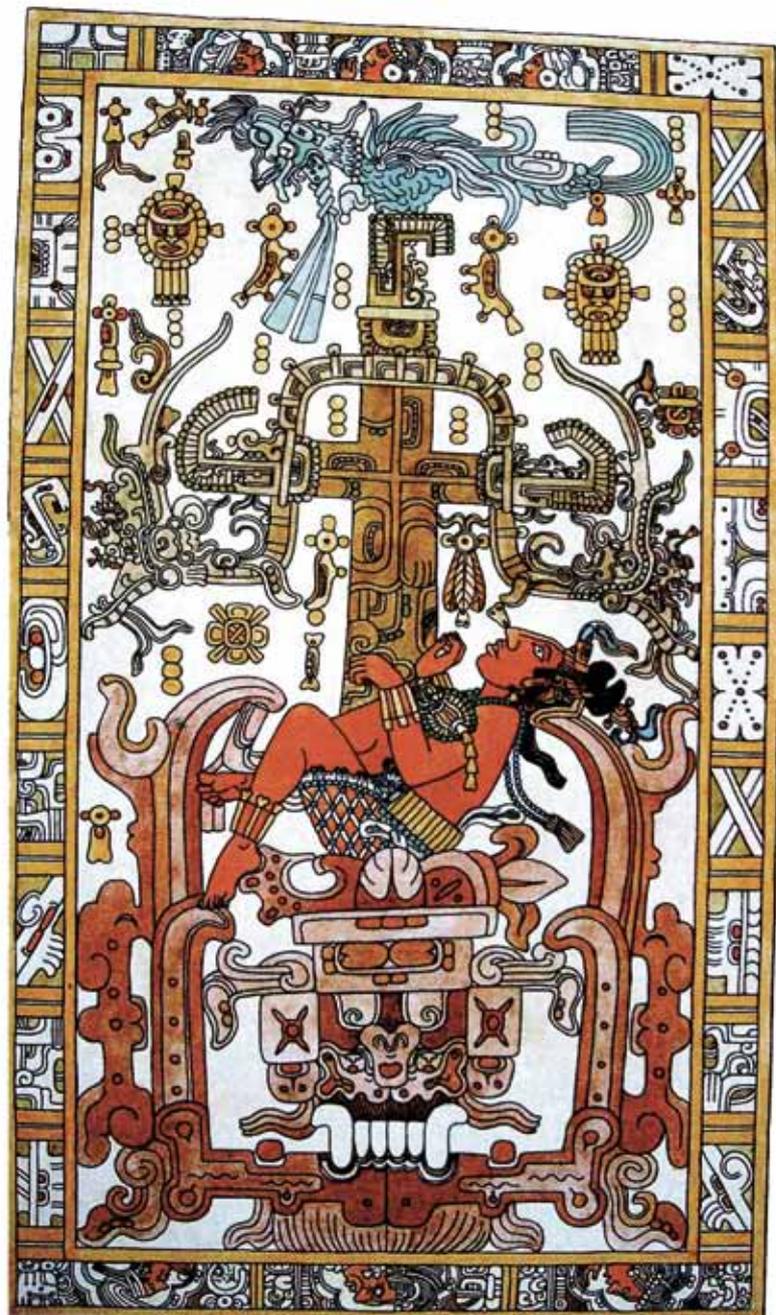
La observación cuidadosa y el registro detallado de los cambios en la posición del Sol y de ciertas estrellas, así como los cambios de forma de la Luna, se transformaron entonces en fenómenos que el ser humano primero describió y luego intentó explicar para guiar sus actividades cotidianas.

Con el correr de los siglos, y con el avance de las técnicas de navegación, los seres humanos comenzaron a utilizar las estrellas para establecer las diferentes rutas marinas, tanto para conquistar nuevas tierras como para ampliar los intercambios comerciales. La posición de las llamadas estrellas fijas y de las constelaciones, permitió la confección de los mapas estelares de navegación.

Los babilonios y los egipcios fueron los primeros en realizar observaciones metodológicas y sistemáticas del cielo y de los cambios que en él se producían.

A lo largo de los siglos no sólo acumularon grandes cantidades de datos y registros sino que además llegaron a formular predicciones muy precisas sobre los cambios celestes, como por ejemplo, la posición de la Luna a lo largo del año. Sin embargo, estas civilizaciones no lograron elaborar una Astronomía porque sus explicaciones mantenían un fuerte carácter mítico.

Los mitos perduraron por su belleza estética, por el asombro ante lo desconocido y también para explicar fenómenos naturales. Según esta concepción, la naturaleza no podía ser comprendida sino que sólo se podía tener la esperanza remota de complacer a los dioses para que fueran benevolentes.



El yaxché o ceiba (*Ceiba pentrandia*) es el árbol sagrado maya. Su nombre significa *árbol verde* (*yax*: verde; *ché*: árbol).

En la cosmovisión maya, se consideraba que las raíces del árbol sagrado ingresaban en el inframundo y las ramas atravesaban los distintos estratos de los cielos.

# LA NECESIDAD DE UNIDADES DE MEDIDA



## ACTIVIDAD

1. Responda estas preguntas antes de leer el desarrollo que sigue. Luego, vuelva sobre sus respuestas y amplíe o modifique lo que considere necesario.
  - a. ¿Por qué supone que el ser humano necesitó medir?
  - b. ¿Cuáles fueron las primeras cosas que habrá medido?
  - c. ¿De qué manera lo habrá hecho? ¿Con qué instrumentos?

Con el desarrollo de pequeñas poblaciones y ciudades se fue haciendo cada vez más necesario para los constructores, comerciantes y la población en general establecer unidades de medida estandarizadas.

Si bien las grandes distancias se determinaban de acuerdo con los días que duraba un viaje, esto no era aplicable a las cuestiones cotidianas. Surgieron así unidades de medida relacionadas con el cuerpo humano.

En Egipto se utilizaba el pie (longitud del pie), el palmo (longitud del ancho de la palma de la mano) y el codo (longitud del antebrazo, desde el codo hasta la punta del dedo mayor extendido). Más adelante, los romanos medirían las distancias recorridas en millas (del latín “mil pasos”; cada paso equivalía a 5 pies romanos).

A pesar de las grandes ventajas que ofrecía este tipo de medición, que tomaba como referencia al propio cuerpo humano, presentaba como inconveniente la diferencia de medida entre distintos sujetos: dos personas distintas podían tener distinto tamaño de pie. Para salvar este problema, fue necesario crear una unidad de referencia o **medida patrón**. En el caso de Egipto, las varas de codo se comparaban y calibraban con respecto al “codo real”, que se preservaba en la forma de una vara de granito negra contra la cual los arquitectos estandarizaban sus propias varas de codo. Un caso interesante es el de la yarda: según se cuenta, se fijó en el siglo XII por Enrique I de Inglaterra como la distancia desde su propia nariz a la punta de su dedo pulgar con el brazo extendido.

En síntesis, **medir es comparar con una unidad patrón conocida**. El patrón se elige arbitrariamente por conveniencia, practicidad o confiabilidad. Así, el metro (creado luego de la Revolución Francesa), se definió como la diezmilésima parte de la distancia entre el polo Norte y el Ecuador, medida a lo largo del meridiano que pasaba por París.

## Los sistemas de medidas



### ACTIVIDADES

- ¿Cuánto mide? ¿Cuánto pesa? ¿Qué hora es? ¿Cuál es el valor de la máxima velocidad permitida en la ciudad?
- Identifique las unidades de medida a las que se hace referencia en el punto anterior. Complete el cuadro con las unidades de medida correspondientes. ¿Qué otras unidades conoce?

Longitud	Peso	Tiempo	Velocidad

Actualmente, en el mundo coexisten diferentes sistemas de medidas. Por ejemplo, en Estados Unidos se utiliza cotidianamente la milla, la libra y los grados Fahrenheit, mientras que en la Argentina cotidianamente utilizamos el kilómetro, el kilogramo fuerza (kgf o kg) y los grados centígrados. Sin embargo, a partir del año 1960 se impulsó la adopción del denominado Sistema Internacional (SI) en todos los países. Nuestro país adoptó este sistema métrico, algunas de cuyas unidades fundamentales son:

Longitud	metro	m
Tiempo	segundo	s
Masa	kilogramo	kg

A partir de estas unidades, es posible generar muchas otras. Por ejemplo, la unidad de velocidad se expresa en metro por segundo (se escribe metro sobre segundo: m/s), pero puede llevarse a metro por minuto o kilómetro por hora, por ejemplo. Como veremos en la Unidad 2, en el SI la unidad de fuerza es una unidad derivada llamada newton (N).

Por ejemplo:

Expresar 30 km/h en m/min.

Si se recuerda que:  $1 \text{ km} = 1.000 \text{ m}$  y  $1 \text{ h} = 60 \text{ min}$

entonces:  $30 \text{ km/h} = \frac{30 \cdot 1.000}{60} \frac{\text{m}}{\text{min}} = 500 \text{ m/min}$



### ACTIVIDAD

- Resuelva los siguientes ejercicios.
  - Un auto se desplaza con una velocidad de 80 Km/h. Exprésela en m/min, m/s y mm/h.
  - Un año luz es la distancia que recorre la luz en un año. Sabiendo que el valor de la velocidad de la luz en el vacío es de unos 300.000 km/s ¿a cuántos kilómetros equivale un año luz?

# LAS PRIMERAS CIVILIZACIONES Y EL PLANO INCLINADO



## ACTIVIDADES

5. Durante mucho tiempo los científicos se preguntaron cómo los egipcios lograron levantar tan imponentes construcciones. Formule una hipótesis para explicar cómo el ser humano pudo construir esos monumentos.
6. Si tuviera la máquina del tiempo y pudiera hacer un viaje al Egipto antiguo:
  - a. ¿Qué máquinas de la actualidad llevaría para la construcción?
  - b. ¿Qué condiciones reúnen estas máquinas para que haya decidido llevarlas?
  - c. ¿Con qué elementos simples habrán reemplazado los egipcios las máquinas que usted eligió?

La importancia de los dioses para las antiguas civilizaciones hizo de los templos las construcciones fundamentales de las grandes ciudades, como ocurría en la Mesopotamia asiática. En un comienzo eran simples construcciones de adobe. En Babilonia, unos 4.000 años a.C., comenzaron a transformarse en enormes templos de piedra.

Las construcciones más grandes que perduraron hasta nuestros días son las famosas pirámides de Egipto, que datan aproximadamente del año 2.500 a.C. Estas pirámides de gran altura —la de Keops llegaba hasta una altura de unos 146 m— eran monumentos funerarios reales construidos con enormes bloques rectangulares de piedra.

Actualmente se considera que para subir las piedras a medida que progresaba la construcción de las pirámides se utilizaron grandes planos inclinados (rampas) provisorios. Esta hipótesis está sostenida por fuertes indicios, incluso podemos encontrar sus huellas en la pirámide escalonada de Sekhem-Khet y alrededor de algunos templos importantes.



Representación de la construcción de las pirámides de acuerdo con la hipótesis del uso de rampas.

Se denomina **plano inclinado** a una superficie inclinada que forma un ángulo agudo con respecto a un plano horizontal. Este elemento es una de las llamadas **máquinas simples**, que facilitan las tareas del ser humano y permiten “ahorrar” esfuerzo cuando se quiere subir un cuerpo, levantar objetos pesados, remover o cambiar un objeto de lugar, etc.

Actualmente los trabajadores de la construcción utilizan tablas inclinadas para transportar materiales como arena, bolsas de cemento, pedregullo, etc., con el auxilio de otros elementos, como la carretilla.

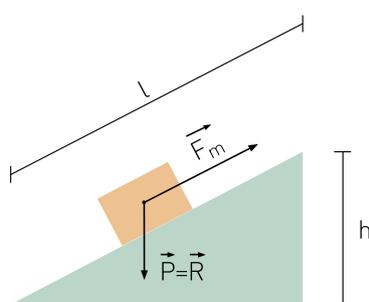


## ACTIVIDAD

7. Mencione tres ejemplos, diferentes a los vistos, de aplicación actual de los planos inclinados.
8. Responda las preguntas.
  - a. ¿En qué forma el plano inclinado pudo facilitar a los egipcios el ascenso de grandes bloques de piedra?
  - b. ¿Qué ventajas y desventajas presentaba el uso de planos inclinados?
  - c. ¿Es más conveniente un plano inclinado largo con un ángulo de inclinación pequeño o al revés?

## Analizamos físicamente el plano inclinado

Consideremos un plano inclinado de longitud  $l$  y de altura  $h$ . Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo colocado sobre dicho plano son:



- el peso del cuerpo que actúa como resistencia  $R$ , y
- la fuerza motriz  $F_m$  necesaria para subir el objeto por la rampa.

Debe tenerse en cuenta que el peso del cuerpo siempre actúa perpendicularmente a la Tierra, es decir en forma vertical. No es perpendicular a la superficie del plano inclinado. La fuerza motriz considerada se ejerce siempre paralelamente al plano inclinado.



En la explicación de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo colocado en el plano inclinado, para simplificar el problema, no estamos teniendo en cuenta la fuerza de rozamiento entre el plano y el objeto. A este tipo de simplificación se la denomina **caso ideal**. Este procedimiento es muy habitual en la Física, por ello lo veremos muy a menudo en el desarrollo del presente Módulo. Una vez comprendido el caso ideal, los científicos tienden a complejizar el problema, agregándole otros factores.

## Condición de equilibrio en el plano inclinado

Para que un objeto se encuentre en equilibrio sobre un plano inclinado es necesario que se cumpla la denominada **condición de equilibrio de un plano inclinado**.

El producto de la fuerza motriz ( $F_m$ ) por la longitud del plano ( $l$ ) debe ser igual al producto de la resistencia ( $R$ ) por su altura ( $h$ ):

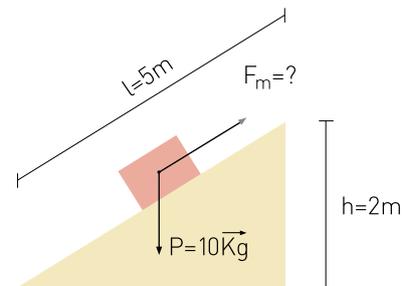
$$F_m \cdot l = R \cdot h$$

La fuerza motriz siempre se aplica paralelamente al plano inclinado, como ya hemos visto.

Partiendo del reposo, si el valor del producto de la longitud del plano por la fuerza motriz (por ejemplo, la ejercida por una persona) supera el valor del producto de la altura del plano por la resistencia, entonces el objeto (por ejemplo, un piano) ascenderá por la rampa.

Veamos un ejemplo:

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.



Planteando la ecuación de equilibrio del plano inclinado tenemos:

$$F_m \cdot l = R \cdot h$$

Despejando:

$$F_m = \frac{R \cdot h}{l}$$

$$F_m = \frac{10\vec{kg} \cdot 2\text{m}}{5\text{m}} = 4\vec{kg}$$



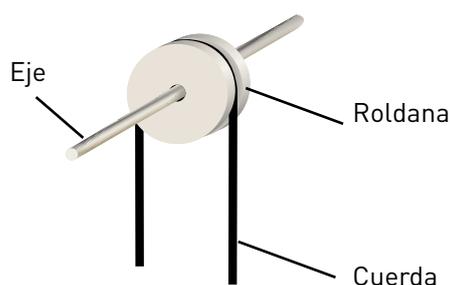
### ACTIVIDADES

9. Sobre un plano inclinado ideal de 8 m de longitud, hay una heladera de 300 kg. ¿Cuál será la fuerza mínima necesaria para subir la heladera por la rampa si la altura de la caja del camión es de 1 m?
10. Calcule la altura de un plano inclinado de 5 m de longitud sabiendo que un objeto que pesa 100 kg se encuentra en equilibrio sobre él bajo la acción de una fuerza motriz de 50 kg.

# LAS POLEAS

## La polea simple

Junto con el plano inclinado, otro dispositivo ya conocido y utilizado por las civilizaciones antiguas fue la **polea simple**. Una polea es un disco rígido que tiene una periferia acanalada (roldana), que puede girar alrededor de un eje y por donde pasa una cuerda, sogá o cadena.



Polea simple.

Esta máquina simple permite cambiar la dirección en la que se ejerce la fuerza al elevar un objeto. Al fijar la polea simple a un soporte, se pasa una cuerda por la roldana hasta alcanzar la carga. Al tirar desde el otro extremo de la cuerda, se puede elevar la carga hasta la altura en que se halla fija la polea.

La polea simple permite elevar una carga pesada. Se la ha empleado fundamentalmente para sacar agua de pozos profundos y en la construcción.

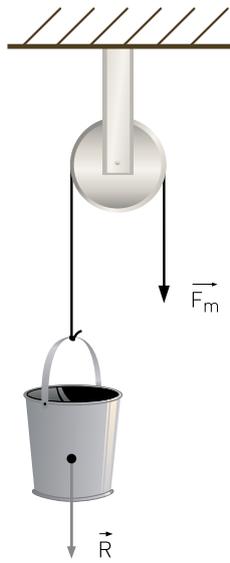
Es muy común la presencia de la polea simple en máquinas en las que se debe cambiar la dirección del movimiento, por ejemplo, en los ascensores.



En una **polea simple ideal**, el valor de la fuerza que un individuo debe aplicar (fuerza motriz) para sostener un objeto en equilibrio es igual al valor de la resistencia que ofrece el objeto (en general el peso).

Simbólicamente:

$$F_m = R$$



Con el uso de una polea simple no se gana fuerza, ya que la resistencia es igual a la fuerza motriz. Sin embargo, sí se logra comodidad, dado que el propio peso del cuerpo de la persona que tira se constituye en una ayuda.

Para que el objeto se eleve partiendo del reposo, la fuerza motriz debe ser algo mayor a la resistencia (peso del objeto).

En la práctica (caso real), la fuerza motriz para subir el objeto debe ser bastante mayor que la resistencia, ya que además tiene que vencer las fuerzas de fricción en la rueda de la polea, o sea las fuerzas de rozamiento entre la polea y el eje que lo sostiene. La fricción siempre reduce la eficiencia de todas las máquinas.

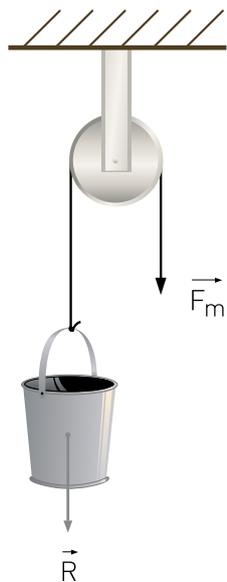


## ACTIVIDAD

11. Mencione, al menos, tres ejemplos cotidianos en los que se utilicen las poleas.

## La polea móvil y la ganancia de fuerza

Cuando el eje de rotación se mantiene fijo mientras la polea gira, estamos frente a una **polea fija**. En cambio, si el eje se desplaza al girar la polea, se trata de una **polea móvil**: en este caso, la polea se une a la carga y no a la viga.



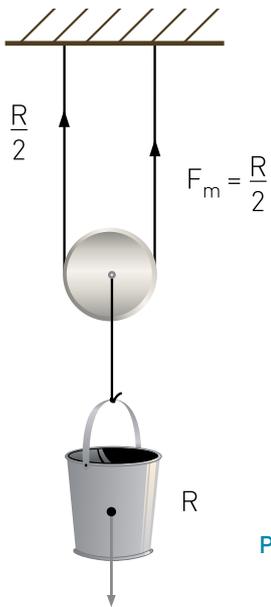
Polea fija.



Polea móvil.



Combinación de polea fija y móvil.



Como se puede observar en la ilustración, en la polea móvil la carga es soportada en igual magnitud por ambos segmentos de cuerda, lo que hace que la fuerza motriz necesaria disminuya a la mitad.

Entonces, la "condición de equilibrio en una polea móvil ideal" se puede expresar como:

$$F_m = \frac{R}{2}$$

Polea móvil ideal.



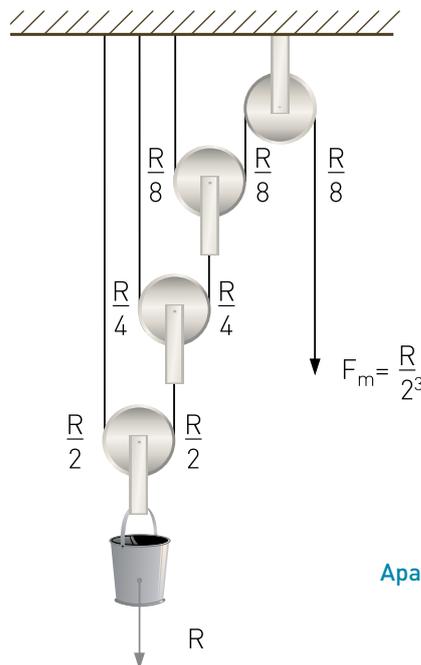
## ACTIVIDADES

12. Compare las fórmulas de la polea fija y la móvil.
13. Determine con cuál de las dos poleas será más fácil vencer una resistencia. Ejemplifique.

## Conectando poleas: los aparejos

Con el correr de los siglos, la humanidad desarrolló y perfeccionó los sistemas de poleas conectadas. Los **aparejos** son dispositivos que combinan poleas fijas y móviles, aprovechando las posibilidades que presentan las distintas combinaciones.

El número de poleas móviles influye en la amplificación ideal de la fuerza de elevación.



Aparejo potencial.

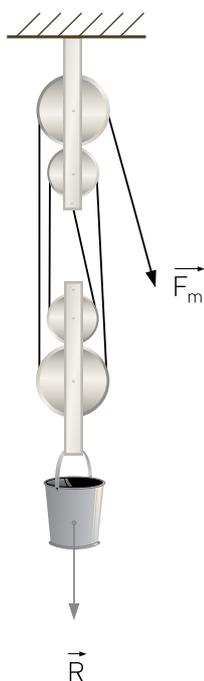
El **aparejo potencial** está formado por una polea fija y varias móviles. Aquí tenemos que la condición de equilibrio en el caso ideal es:

$$F_m = \frac{R}{2^n}$$

donde **n** es el número de poleas móviles

El **aparejo factorial** combina igual número de poleas fijas y móviles. En el caso ideal, la condición de equilibrio en este sistema es:

$$F_m = \frac{R}{2 \cdot n}$$



Aparejo factorial.



## ACTIVIDAD

14. En una mudanza se quiere elevar un cajón que pesa 50 kg desde la planta baja hasta un primer piso. Calcule cuál será el valor de la fuerza que se debe aplicar para elevar ese cajón mediante:
- Una polea fija.
  - Una polea móvil.
  - Un aparejo potencial de tres poleas en total.
  - Un aparejo factorial de seis poleas en total.

## ARQUÍMEDES: LA LEY DE LA PALANCA



### ACTIVIDAD

15. Responda:

- ¿Qué entiende por “hacer palanca”?
- ¿Qué es una palanca?

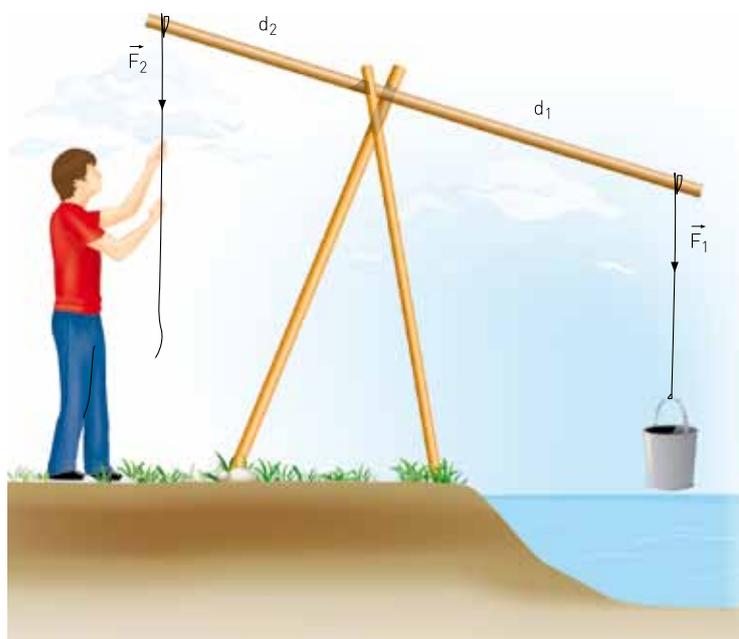
Cotidianamente, los campesinos egipcios se dedicaban al riego, para lo cual era necesario realizar profundos canales y construir diques con azadas. Utilizaban el shaduf, un dispositivo que se utiliza aún y que permitía extraer el agua de los canales.

Consistía en un trípode de madera en el cual se apoyaba un largo brazo, también de madera. En un extremo de la barra se ataban algunas rocas a modo de contrapeso y en el otro extremo, un recipiente que colgaba de una fuerte sogá.

El shaduf es un tipo de máquina simple denominada **palanca**.



El shaduf sigue siendo utilizado actualmente por diversos pueblos.



Dispositivo actual que cumple la misma función que el antiguo shaduf.

La **palanca** es un dispositivo que consta de una varilla rígida sostenida sobre un punto (o eje) de apoyo.

En una palanca, se llama resistencia ( $R$ ) a la fuerza que hay que equilibrar o vencer y se llama fuerza motriz ( $F_m$ ) a la fuerza que equilibra a la resistencia.



Una balanza en una antigua pintura egipcia.

Al igual que el shaduf, la balanza de platillos es otro ejemplo donde puede verse la utilización de la palanca en el antiguo Egipto.

Aunque los antiguos babilonios y egipcios dominaban algunos aspectos tecnológicos útiles para su desenvolvimiento diario, no explicaron los principios que los regían.

Fueron los griegos quienes aportaron una nueva manera de observar el universo, como si fuera una máquina gobernada por leyes, y no simplemente por los dioses según sus estados de ánimo.

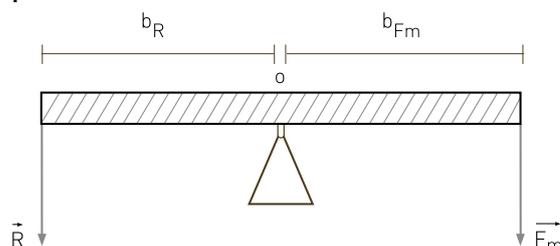
Buscando descubrir las leyes de la naturaleza, Arquímedes (siglo III a.C.) logró explicar el funcionamiento de la palanca, al establecer la relación entre el largo de los brazos y las fuerzas aplicadas.



Los egipcios siempre se ocupaban de tener áreas en las que cultivar vegetales, tanto en las ciudades, como en las zonas rurales. El terreno se dividía en áreas cuadrangulares separadas por pequeños canales y el agua era acarreada hasta allí en jarras de cerámica, lo que implicaba un gran trabajo. Gracias a la invención del shaduf, esta tarea se simplificó notoriamente.

## Condición de equilibrio de la palanca

La **palanca ideal** se mantendrá en equilibrio cuando el producto de la **fuerza motriz por el brazo de fuerza motriz** sea igual al producto de la **resistencia por el brazo de resistencia**.



Palanca ideal.

Simbólicamente:

$$F_m \cdot b_m = R \cdot b_R$$

donde consideramos que las fuerzas se aplican perpendicularmente a la barra.

El **brazo de fuerza motriz (bm)** se define como la distancia sobre la palanca desde el punto de apoyo hasta el punto donde se aplica la fuerza motriz, y el **brazo de resistencia (bR)** como la distancia desde el punto de apoyo a la resistencia.

Cuando las fuerzas no actúan perpendicularmente a la barra es necesario descomponerlas, mediante procedimientos trigonométricos, para utilizar la condición de equilibrio presentada.



## ACTIVIDADES

16. Reflexione y discuta con sus compañeros: ¿qué habrá querido decir Arquímedes con la frase que se le asigna: “Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo”?

17. Resuelva el siguiente problema:

A 1,5 m del punto de apoyo de un sube y baja se ubica un niño de 30 kg.

- ¿A qué distancia del otro lado del punto de apoyo el padre tiene que ejercer una fuerza de 20 kg para mantener el sube y baja en equilibrio?
- ¿Será más fácil o más difícil para el padre levantar al niño si ejerce la fuerza alejándose del punto de apoyo? ¿Por qué?

## Tipos de palancas



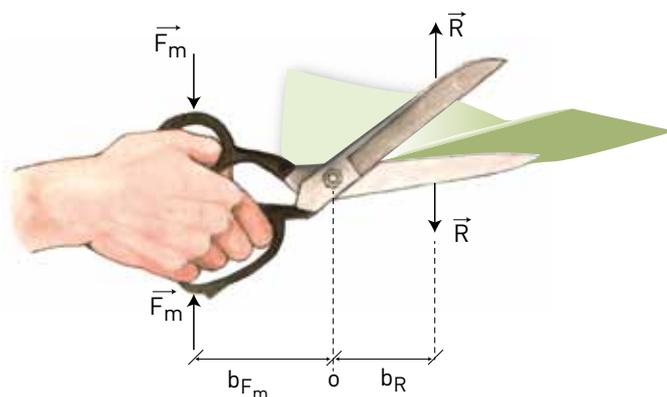
### ACTIVIDAD

18. Realice la siguiente experiencia:

Tome una escoba o un plumero y apoye su dedo índice en un punto del palo, de tal manera que el elemento quede horizontal (paralelo al piso) y en equilibrio.

- ¿Se equilibra justo en el centro del palo?
- ¿Por qué?

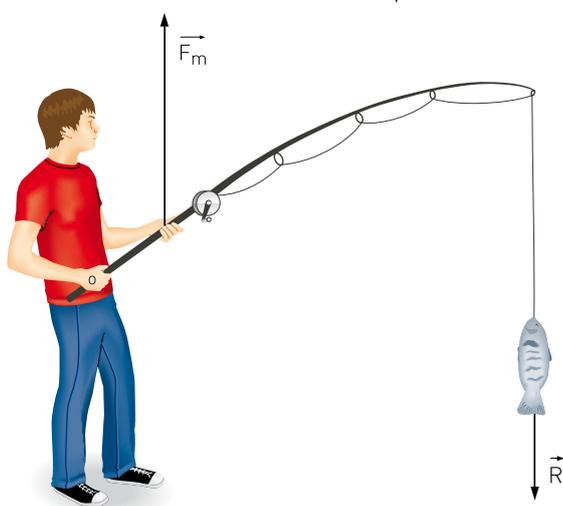
Las palancas pueden clasificarse de acuerdo con la disposición que presentan estos tres elementos: **punto de apoyo, resistencia y fuerza motriz**.



**Palancas de primer género:** cuando el punto de apoyo está ubicado entre la resistencia y la fuerza motriz. Como ejemplo podemos mencionar una tijera.



**Palancas de segundo género:** cuando la resistencia se encuentra entre el punto de apoyo y la fuerza motriz. Un ejemplo es la carretilla.



**Palancas de tercer género:** cuando la fuerza motriz está ubicada entre el punto de apoyo y la resistencia, como en una caña de pescar.

En todos los casos, la condición de equilibrio es la misma. Por lo tanto, la ecuación escrita en la página 22 es válida para cualquiera de los géneros de palancas.



## ACTIVIDADES

19. Mencione dos elementos o aparatos cotidianos que correspondan a cada género de palancas.
20. Realice un esquema gráfico en el que se muestre la disposición de las fuerzas actuantes y del punto de apoyo en cada uno de los ejemplos del punto anterior.
21. Calcule la longitud de una caña de pescar que permite levantar un pez de 5 kg ejerciendo una fuerza de 10 kg a 1,50 m del punto de apoyo de la caña.

# LA FÍSICA ARISTOTÉLICA

## Las leyes aristotélicas del movimiento



### ACTIVIDAD

22. Responda las siguientes preguntas:

- ¿Por qué el humo sube?
- ¿Por qué cae el agua de una cascada?
- ¿Por qué la bicicleta sigue andando cuando dejamos de pedalear?

Aristóteles, filósofo que vivió en Grecia en el siglo IV a.C., pensaba que había dos tipos de movimiento: el movimiento natural y el movimiento violento. En cuanto al primero, el filósofo sostenía que los objetos se dirigían naturalmente a los lugares de reposo. Por ejemplo, las piedras caen al suelo y el humo sube porque es natural que los objetos pesados caigan y que los livianos asciendan. Para él, el movimiento natural era la tendencia a alcanzar el lugar de reposo.

Los movimientos violentos, en cambio, eran los ocasionados por alguna fuerza exterior, tenían una causa externa: por ejemplo, los carros avanzaban porque eran tirados por caballos. Los objetos que se hallaban en sus lugares naturales de reposo sólo podían ser sacados de ese lugar por movimientos violentos, es decir empujando o tirando de ellos.

Según Aristóteles, los únicos movimientos naturales en la Tierra eran los verticales, como la caída de los cuerpos. Cualquier otro movimiento era siempre violento y necesitaba de una fuerza externa que actuara constantemente sobre el objeto mientras se moviera, de tal manera que su movimiento cesaba cuando cesaba la fuerza.

Esta interpretación coincidía con el hecho cotidiano de ver que un carro se movía solamente si los caballos tiraban de él, mientras que el carro se detenía cuando los caballos dejaban de hacer fuerza.

Sin embargo, ni Aristóteles ni sus defensores pudieron explicar satisfactoriamente por qué avanzaba una flecha luego de haber dejado el arco ni por qué continuaba volando una piedra luego de abandonar la mano.

## La Astronomía aristotélica

Dado que el estado natural de los objetos según esta concepción era el reposo, se pensaba que la Tierra estaba en reposo en el centro del universo, porque era su lugar natural. Por otro lado, esta idea era coherente con las percepciones diarias: el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas parecen moverse alrededor de nuestro planeta y no que la Tierra se mueva.

Aristóteles —al igual que Platón, su maestro— pensaba que el movimiento de los planetas y de las estrellas era eterno y perfecto y que, por lo tanto, no

podía tener ni principio ni fin. En otras palabras, el movimiento “natural” de los astros era en trayectoria circular, ya que en ella no puede hablarse de principio o de fin del movimiento.



Así, para Aristóteles el movimiento celeste se explicaba de manera diferente a los movimientos en la Tierra. Aparece entonces una separación entre el mundo terrestre y el mundo de los astros.

Si bien hubo griegos pitagóricos (discípulos del filósofo y matemático griego Pitágoras) que sostuvieron que la Tierra se movía, esta teoría no fue aceptada en aquella época porque parecía contradecirse con los hechos observados: el Sol parece moverse sobre nosotros, mientras que no percibimos el movimiento terrestre.

La explicación finalmente aceptada resultó ser la sostenida por Aristóteles y Eudoxo: el Sol, los planetas conocidos y las estrellas giraban alrededor de una Tierra inmóvil en el centro del Cosmos.

Claudio Ptolomeo (siglo II) defendió y corrigió estas explicaciones de tal forma que al modelo se lo conoce como **modelo de Ptolomeo**.

A pesar de varias inconsistencias que presentaba el modelo y de las diversas correcciones que se le hicieron, explicaba satisfactoriamente muchos más fenómenos que los que dejaba de explicar. Esto permitió al modelo de Ptolomeo perdurar por más de 1.000 años hasta que en 1514, Nicolás Copérnico propuso un modelo más simple.



## ACTIVIDAD

23. Explique cuáles eran las diferencias entre las leyes del movimiento terrestre y las leyes del movimiento celeste según Aristóteles.

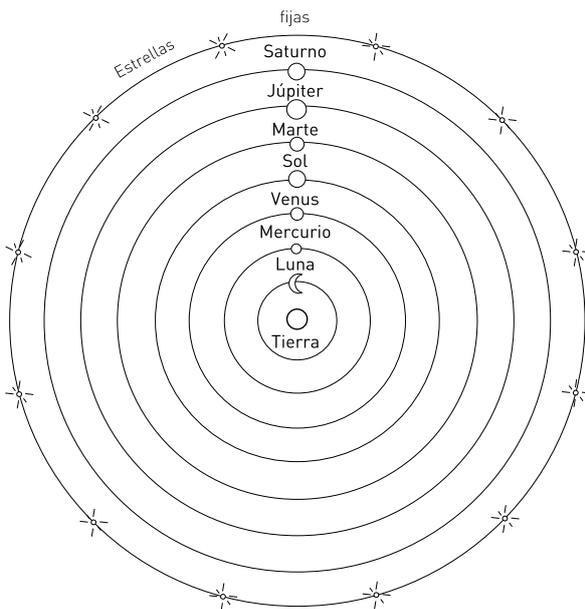
## La hipótesis copernicana

Actualmente consideramos que los enunciados científicos son hipotéticos, es decir, que nunca pueden ser considerados absolutamente verdaderos. Siempre es posible que en un tiempo, cercano o lejano, sean reemplazados por otros enunciados. Tal como plantea Irving Copi (1972): “todas las proposiciones de la ciencia son consideradas como hipótesis, nunca como dogmas”.

Sin embargo no siempre fue así.

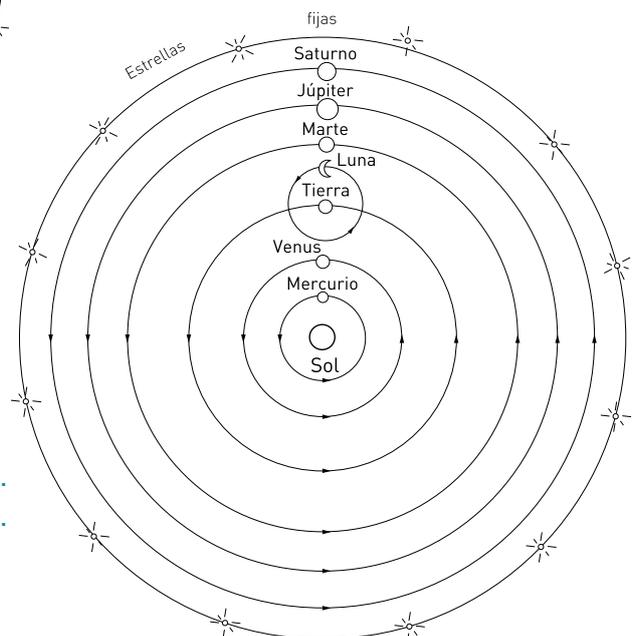
Alrededor de 1.800 años después de la muerte de Aristóteles, el sacerdote y astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) formuló una nueva teoría. A partir de la lectura de los textos de los antiguos griegos, propuso como hipótesis que el Sol está en el centro del universo y la Tierra moviéndose a su alrededor. Esta teoría, denominada **heliocéntrica** (del griego *helios*: Sol), estaba en contra de las ideas de la época, que seguían siendo aristotélicas o **geocéntricas** (de *geo*: Tierra), y que muchos consideraban irrefutables e indiscutibles. Por esta razón, Copérnico trabajó en secreto.

Finalmente, a pedido de sus amigos, envió sus ideas a la imprenta. Recibió el primer ejemplar de su obra *De revolutionibus orbitum coelestium*, mientras yacía moribundo, el 24 de mayo de 1543. Ese mismo día falleció.



Sistema astronómico de Ptolomeo.  
Modelo geocéntrico.

Sistema astronómico de Copérnico.  
Modelo heliocéntrico.



Dado su estado de salud, es muy probable que Copérnico no haya sido consciente de haber recibido su propia obra maestra. Será Galileo Galilei, en el siglo XVII, quien intente demostrar que la hipótesis copernicana de una Tierra en movimiento era razonable.

Tal como sucedió con Copérnico y Aristóteles, a lo largo de la historia de la ciencia es frecuente que nos encontremos con **hipótesis** rivales, es decir con hipótesis diferentes que explican un mismo hecho en forma satisfactoria. Poder decidir entre una u otra no depende exclusivamente de las observaciones, sino que depende también de lo que cada científico o comunidad de científicos consideran más coherente, de la visión que se tiene del mundo y de la realidad en ese momento de la historia.

Defender el sistema geocéntrico de Aristóteles no era simplemente una defensa de lo que parecía suceder de acuerdo con los sentidos. También se defendía una manera de “entender” el mundo. Para la época, una Tierra en el centro del universo significaba que el centro lo más importante del universo era el ser humano. Movimientos circulares perfectos y eternos de los astros significaban la perfección de los cielos y la imperfección de los seres humanos. Dejar el sistema geocéntrico implicaba abandonar –al menos en alguna medida– la concepción que se tenía del ser humano. Indudablemente, una tarea difícil de lograr.



No todas las afirmaciones provisorias o probables pueden ser consideradas como hipótesis científicas. El conocimiento científico debe poder ser verificado por otros, y en especial por la comunidad de científicos. En definitiva, una afirmación sólo puede ser considerada como una hipótesis científica si puede someterse a prueba, directa o indirectamente, a fin de ser convalidada o rechazada.



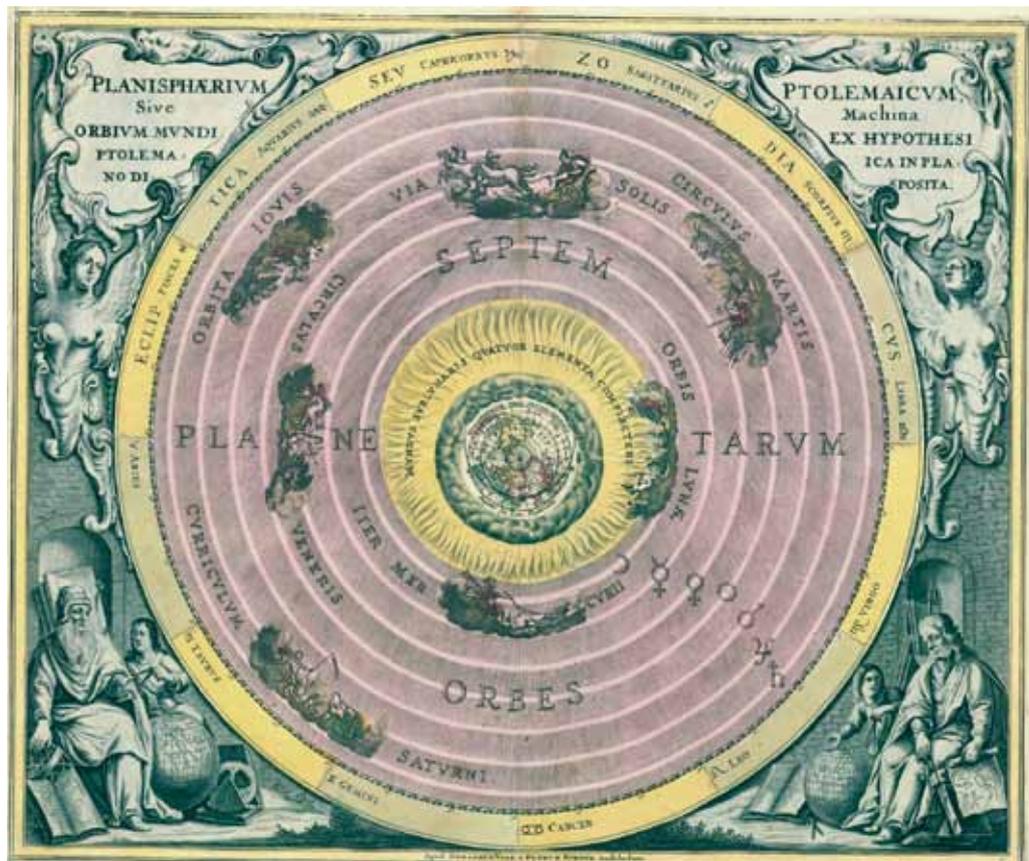
## ACTIVIDAD

24. Identifique cuáles de las siguientes afirmaciones son hipótesis científicas. Justifique sus respuestas.
- Albert Einstein es el científico más grande de todos los tiempos.
  - El universo se originó a partir de una gran explosión.
  - Tal vez mañana llueva.
  - La materia está constituida por pequeñas partículas.
  - El Sol es de fuego.

## Los modelos astronómicos

Los **modelos** son herramientas creadas por el ser humano que permiten la comprensión de los hechos y fenómenos de la realidad a partir de la formulación de explicaciones, predicciones, conjeturas e hipótesis sobre por qué y cómo ocurren los hechos y cómo interpretarlos.

Derek Hodson (1986) en su texto *Filosofía de la ciencia y educación científica* sostiene que: “La ciencia se aproxima a menudo a una teoría realista por medio de modelos instrumentales provisionales [...] los que se consideran útiles pero no verdaderos”.



Escenografía de la cosmografía ptolemaica realizada por Andreas Cellarius, 1708.



### ACTIVIDAD

25. ¿En qué sentido las concepciones que tenían Aristóteles y Copérnico del universo pueden ser consideradas como modelos? Fundamente su respuesta.
  - a. Realizó un cuadro comparativo entre el modelo geocéntrico y el heliocéntrico que incluya la posición de los astros conocidos, la forma de las órbitas y la existencia de epiciclos, etcétera. Profundizó este tema buscando en otras fuentes y consultando con tu profesor tutor.
  - b. ¿Qué fundamentos filosóficos y/o religiosos se encontraban por detrás de cada modelo?
  - c. ¿Por qué resultó tan difícil cambiar de modelo?

# INCONVENIENTES QUE ENFRENTÓ LA FÍSICA ARISTOTÉLICA

Como ya hemos dicho, llevó muchos años, incluso algunos siglos, aceptar que la Tierra no es el centro fijo del universo.

A continuación desarrollaremos una serie de problemas, inconvenientes y anomalías que presentaba la concepción aristotélica del universo y de las leyes naturales que lo regían.

## Un primer inconveniente: la caída de los cuerpos



### ACTIVIDAD

26. Se sueltan dos pelotas de igual volumen, una de madera y la otra de acero, desde la misma altura y al mismo tiempo. A partir de esta situación, resuelva:
- ¿Llegará primero la más pesada? ¿Por qué?
  - ¿Será importante la diferencia de tiempos de llegada?
  - Realice una experiencia similar y explique el resultado obtenido.

Según Aristóteles, la velocidad de un cuerpo era directamente proporcional a su peso. Un cuerpo de peso notoriamente mayor que otro caería mucho más rápido, es decir, tardaría un tiempo mucho menor en alcanzar el suelo.



Según se dice, el italiano Galileo Galilei (1564-1642) dejó caer dos objetos de diferente peso, pero de igual forma desde lo alto de la torre inclinada de la ciudad de Pisa (Italia).

Para asombro de muchos de los que estaban allí, el objeto más pesado llegó solamente una fracción de segundo antes que el más liviano y no muchos segundos antes como hubiesen esperado los aristotélicos. Sin embargo, Galileo no llegó a comprender en profundidad cuál era la causa de este fenómeno.

Sólo muchos años después Newton propuso una explicación completa. Hoy aceptamos que **dos objetos de muy distinto peso caen al mismo tiempo si son soltados desde la misma altura y al mismo tiempo en un lugar donde exista vacío**. Es muy frecuente mostrar este experimento dentro de un tubo largo de vidrio al cual se le extrae el aire.

Torre de Pisa.



En el fondo, se podría decir que la hipótesis de Galileo es una idealización, que el vacío perfecto necesario para llegar a probarla no ha sido aun creado, ni probablemente lo será nunca. Incluso así, las numerosas confirmaciones de que se dispone se verifican dentro de un error experimental tan pequeño que son en extremo convincentes. Si existe alguna desviación, ésta debe ser mínima. Por lo tanto, se acepta como cierta la noción de que todas las cosas caen en el vacío a la misma velocidad dentro de los límites actuales de error experimental. (Eugene Hecht, 1987.)

Si bien la prueba de la Torre de Pisa por sí sola no fue suficiente para que se abandonaran las ideas aristotélicas, hoy entendemos que con los trabajos de Galileo comenzó a establecerse definitivamente la ciencia moderna, entre otras razones, porque la forma empleada para validar el conocimiento de los fenómenos naturales se distinguía de la utilizada habitualmente hasta ese momento.



## ACTIVIDADES

27. Realice esta sencilla experiencia.

Observe y describa qué sucede si se deja caer desde la misma altura y al mismo tiempo:

- Una goma de borrar y una hoja de papel abierta.
- Una goma de borrar y la hoja de papel hecha un bollo.



28. ¿Cómo podrían explicarse las situaciones analizadas en la actividad 27 teniendo en cuenta las ideas de Galileo previamente desarrolladas?

29. Observe qué sucede si deja caer una hoja de papel abierta y otra cerrada (las dos pesan lo mismo). Analice la situación según la física aristotélica y según la visión de Galileo.

30. Compare la manera en la que Aristóteles y Galileo validaban las afirmaciones sobre los fenómenos naturales. ¿En qué sentido esta diferencia en la forma de validación influye en el desarrollo posterior de la ciencia?

## Un segundo inconveniente: la inercia

Es fácil comprender que todo objeto en reposo tiende a permanecer así; y que sólo cambiará su estado si se le aplica una fuerza externa. Pero ¿qué sucede cuando el objeto se encuentra en movimiento?



### ACTIVIDADES

31. Imagine un objeto deslizándose sobre diferentes tipos de superficie: madera, baldosas pulidas, pista de hielo.
- Analice qué sucede con la velocidad del objeto en cada caso.
  - Determine cómo será su trayectoria.
  - Explique qué sucedería si se anulara por completo el rozamiento con la superficie.

Podemos imaginar que en ausencia de fuerzas que frenen al objeto (rozamiento con el aire, con el suelo, etc.) o que lo desvíen, este se deslizará siempre a la misma velocidad sin frenarse y en línea recta. Newton, a partir de las ideas de Galileo, publicó en 1687 una ley del movimiento que se conoce con el nombre de **Principio de inercia** (o **Ley de inercia**):

**Todo objeto permanece en su estado de reposo, si se halla en reposo, o de movimiento en línea recta con velocidad constante, si está en movimiento, mientras que no se le apliquen fuerzas externas que lo obliguen a cambiar dicho estado.**

Esta afirmación es la primera de las famosas tres **Leyes de Newton**. Un ejemplo cotidiano en el que se manifiesta esta ley es el que experimentamos cuando viajamos parados en colectivo. Cuando el colectivo frena de golpe, nosotros tendemos a seguir el movimiento hacia adelante. Una persona que observa lo sucedido de pie en la calle, puede apreciar claramente que nosotros nos veníamos desplazando junto con el colectivo. Cuando este frenó, nosotros continuamos con la velocidad que traíamos anteriormente (la misma que tenía el colectivo antes de frenar). En otras palabras, mantuvimos nuestro estado de movimiento por inercia.

En la práctica real, el movimiento a velocidad constante no se cumple perfectamente ya que siempre hay rozamiento, aunque sea mínimo. Aquí se puede apreciar claramente una ley física, la de inercia, que no parte de la observación porque nadie nunca observó un cuerpo sobre el que no actúe ninguna fuerza. Este concepto es una idealización, una construcción intelectual (coherente con los datos observacionales) que demandó siglos producir.



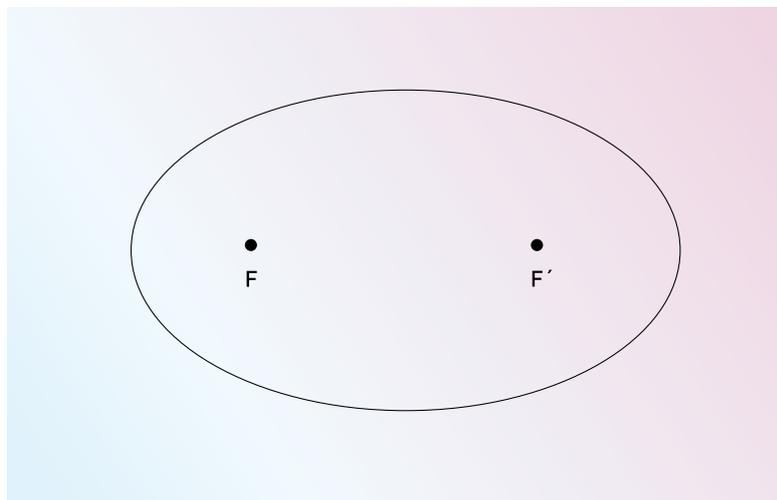
## ACTIVIDADES

32. Establezca diferencias entre lo que dice el Principio de inercia y las Leyes del movimiento aristotélico.
33. Describa tres ejemplos de la vida cotidiana en los que intervenga el Principio de inercia.
34. ¿Observar rigurosamente un fenómeno implicará necesariamente llegar a comprenderlo? ¿Qué papel cumple la observación en la ciencia?

## Un tercer inconveniente: las órbitas elípticas

¿Es realmente heliocéntrico el sistema solar, tal como supusieron Copérnico y Galileo?

Johannes Kepler (1571-1630), contemporáneo de Galileo, revisando las anotaciones de las posiciones de los astros hechas a simple vista (todavía no existía el telescopio) durante muchos años por su maestro, el astrónomo danés Tycho Brahe, notó que la órbita de Marte no era un círculo perfecto, sino que se parecía ligeramente a un óvalo. Esto lo llevó a formular una hipótesis que se conoce como la **Primera Ley de Kepler**:

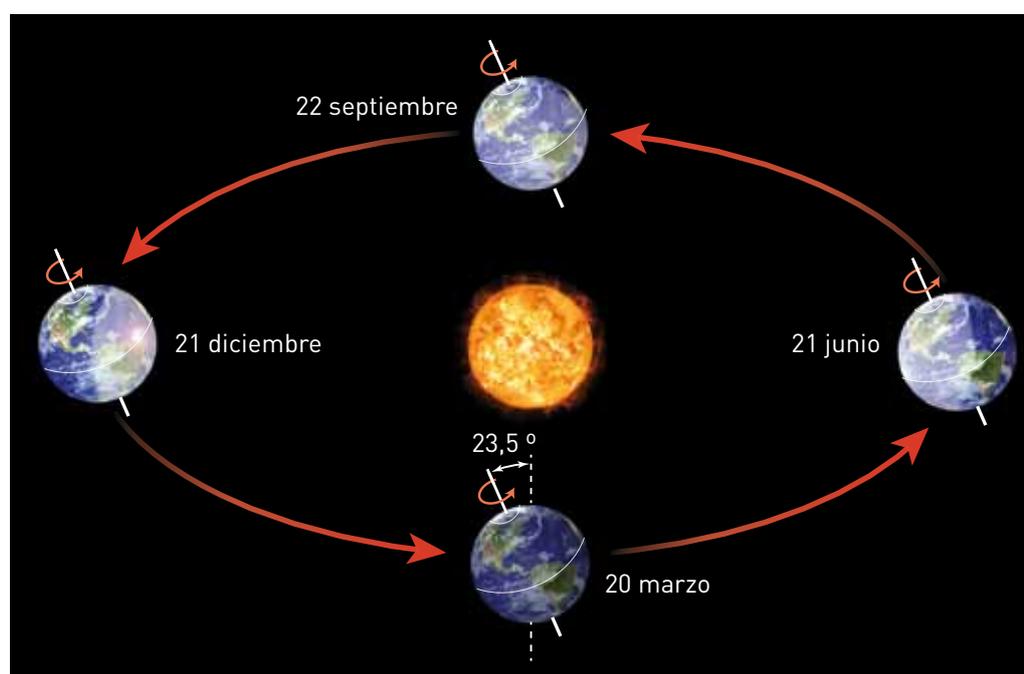


Elipse con sus dos focos F y F'.

Las órbitas de los planetas son de forma elíptica y el Sol se encuentra en un punto muy particular llamado **foco de la elipse**.

Pasados algunos años y aceptada esta nueva hipótesis, el Sol dejó de ocupar el punto central del sistema solar, de la misma manera que anteriormente la Tierra había sido desplazada de dicho lugar.

Muchos consideran que las estaciones del año se deben a la cercanía o a la lejanía de nuestro planeta con respecto al Sol en su órbita elíptica. Sin embargo, desde este punto de vista, no se tiene presente que cuando en el hemisferio sur es verano, en el mismo momento es invierno en el hemisferio norte. La explicación que fundamenta en la distancia del Sol la existencia de las estaciones es contradictoria e incorrecta. Ante esta contradicción, se hace necesario presentar una nueva hipótesis y, en este caso en particular, la que explica las estaciones del año es que el eje de rotación del planeta está un poco inclinado respecto del plano de la órbita.



La existencia de las estaciones se relaciona con el movimiento de traslación terrestre alrededor del Sol y la inclinación del eje de rotación del planeta.

En general, los seres humanos nos hacemos representaciones y explicaciones intuitivas del mundo a partir de nuestra experiencia sensorial directa. Sin embargo, estas representaciones no necesariamente responden a los hechos. Dichas representaciones se conocen como **ideas previas** o **preconcepciones** y muchas veces, en relación con el ámbito de la Física, son conceptualmente incorrectas.

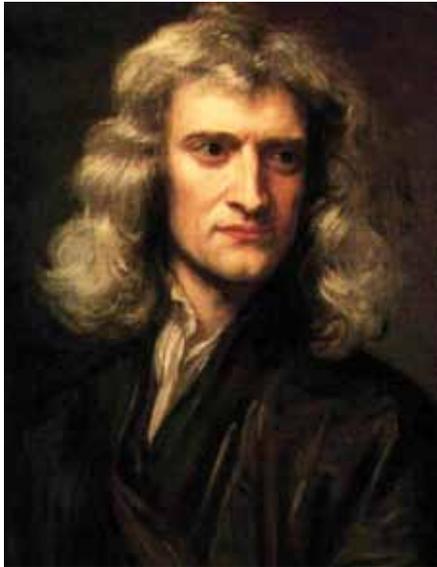


## ACTIVIDAD

35. ¿En qué sentido la afirmación de Kepler contradecía la física aristotélica?

## LA CAÍDA DE LA FÍSICA ARISTOTÉLICA: LA LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Isaac Newton nació en el año 1643 en una aldea de Woolsthorpe, Inglaterra, el año siguiente de la muerte de Galileo. Newton fue uno de los físicos más importantes de la historia. Uno de los períodos más fructíferos de su producción fue entre los años 1665 y 1666 mientras se encontraba en su casa natal escapando de la peste negra que azotaba Cambridge. Según cuenta la leyenda, mientras estaba sentado en su jardín, la caída de una manzana lo llevó a reflexionar.



Isaac Newton (1643 – 1727).

Newton comprendió que dos objetos cualesquiera se atraen entre sí por el solo hecho de poseer masa (medida de la cantidad de materia que tiene un cuerpo). El valor de esta fuerza de atracción, llamada **fuerza gravitatoria**, depende de la masa de los objetos y de las distancias que separan sus centros.

La **Ley de la gravitación universal** de Newton puede generalizarse para todos los cuerpos del universo y se expresa en forma matemática mediante la siguiente ecuación:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

donde **G** es la constante de gravitación universal,  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ ,  
**M** es la masa mayor,  
**m** es la masa menor y  
**d** es la distancia que separa los centros de ambas masas.

Esta ley explica fenómenos tan distintos como la caída de los objetos, el movimiento de los planetas, de los satélites o el fenómeno de las mareas.

Newton no descubrió la gravedad sino su universalidad, es decir, que la fuerza de atracción gravitatoria existe siempre entre objetos porque poseen masa, sean estos tan masivos como una estrella o pequeños como una nuez.

A partir de la Ley de la gravitación universal, Newton logró mostrar contundentemente que la división entre el mundo terrestre y celeste propuesta por Aristóteles era innecesaria. Desde ese momento las leyes que rigen los movimientos terrestres y celestes son las mismas, poniendo así fin al proceso de ruptura con la física aristotélica que ya había iniciado Galileo con sus trabajos de astronomía y cinemática (estudio de los movimientos), mediante una novedosa forma de entender la ciencia a través del uso de la metodología experimental.

## EL MODELO DE CAMPO

Ya vimos que se denomina **modelo** al proceso de generar una representación abstracta, conceptual, gráfica, física o matemática de fenómenos naturales a fin de analizar, describir, explicar, formular o simular dichos fenómenos. Se considera que la creación de un modelo es una parte esencial de toda actividad científica.

Podríamos decir que un modelo es una manera de organizar los hechos observados para generar nuevos conocimientos. Predice cómo se comportará un sistema en determinadas circunstancias.

La física utiliza modelos desde siempre para tratar de interpretar los fenómenos naturales. Estos modelos no son inamovibles, sino que a través de la historia de la física han sido modificados a la luz de nuevos descubrimientos y en ocasiones reemplazados ante la imposibilidad de adecuarlos.

Nos proponemos ahora analizar un modelo que permitió una mejor interpretación de ciertos hechos observables: el **modelo de campo**.

### Campo gravitatorio

Ya hemos mencionado la Ley de gravitación universal, el gran aporte de Isaac Newton que permitió generalizar la interacción a distancia entre dos cuerpos caracterizados por su masa.

Recordarás que dicha interacción depende de la masa de ambos cuerpos y del cuadrado de la distancia que los separa según la siguiente expresión matemática que ya analizamos:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Es interesante destacar que el mismo Newton, en 1692, hizo un comentario interesante sobre el concepto de acción a distancia. Según sus palabras, parecía intuir un fallo en su teoría:



Es inconcebible que la materia inanimada y bruta pueda operar e influir sin la mediación de otra cosa que no sea material, sobre la materia, sin un contacto mutuo [...] El que la gravedad sea inherente y esencial a la materia de modo que un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia a través del vacío sin la mediación de ninguna otra cosa de manera que su acción y fuerza pueda transportarse de un cuerpo a otro es para mí un absurdo tan grande que no creo que haya ninguna persona competente en temas filosóficos que pueda coincidir con ello.

[Tercera carta a Richard Bentley, 25 de febrero de 1692. R. y J. Dodsley, Londres, 1756.]

En la actualidad los científicos han creado el modelo de campo que les permite explicar las acciones a distancia desde otra óptica.

La experiencia nos muestra que todo cuerpo en la cercanía de la Tierra es atraído hacia ella. Podemos reemplazar la idea de atracción a distancia por el concepto de campo. Aceptamos la idea de que la presencia de la Tierra modifica el espacio que la rodea y llamamos a ese espacio modificado o alterado **campo gravitatorio**.

Nos podríamos preguntar si el cuerpo colocado en las proximidades de la Tierra también modifica el espacio que lo rodea y crea entonces un campo gravitatorio en el cual se encuentra la Tierra. La respuesta es afirmativa, pero ¿por qué no veo a la Tierra moverse hacia el cuerpo?

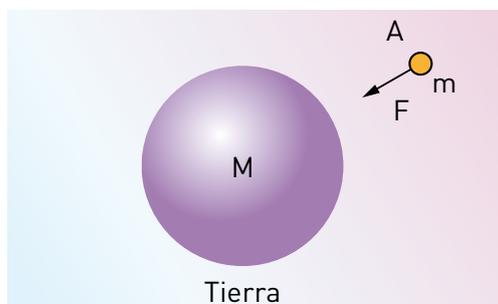
Los cuerpos materiales están caracterizados, como ya se dijo, por su masa. Si comparamos la masa de la Tierra con la de un cuerpo cualquiera con el que experimentamos, la masa de la Tierra resulta muchísimo mayor. Esto nos permite suponer que el campo gravitatorio terrestre es mayor que el creado por ese cuerpo.

Estudiemos en particular el campo gravitatorio terrestre y digamos que la **masa de la Tierra (M)** es la **masa generadora** del campo y que la **masa del cuerpo (m)** colocado en su proximidad es la **masa exploradora**.

Si hiciéramos la experiencia de colocar en un mismo punto A cercano a la Tierra cuerpos de diferente masa y midiéramos la fuerza de atracción sobre ellos, observaríamos que al realizar el cociente entre la fuerza y la masa de cada cuerpo, este cociente permanecería constante:

$$\frac{F}{m} = \text{cte.}$$

Fuerza de atracción  
entre cuerpos de  
diferente masa.



Definimos a ese cociente como la **intensidad de campo gravitatorio** en el punto A:

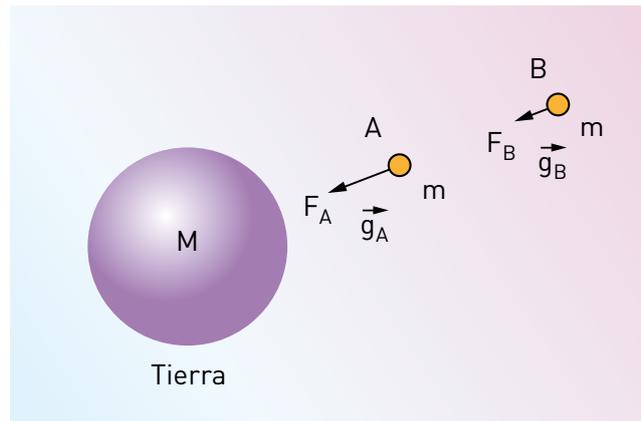
$$\frac{F}{m} = g$$

Las magnitudes (todo aquello que pueda ser medido), se clasifican en **escalares** y **vectoriales**. Magnitudes escalares son aquellas que se definen por un número y la unidad correspondiente, por ejemplo: longitud, tiempo. Las magnitudes vectoriales, además del número y la unidad poseen dirección y sentido, se representan por un segmento orientado llamado **vector**, por ejemplo: fuerza, velocidad.

Recordemos que la fuerza es una magnitud vectorial, por lo tanto, el campo gravitatorio resulta ser un vector que tiene la dirección y sentido de la fuerza que actúa sobre la masa exploradora.

Si ahora repetimos la experiencia mencionada antes, colocando un mismo cuerpo en diferentes puntos, pero cercanos a la Tierra, veríamos que el valor del campo gravitatorio es prácticamente el mismo.

Sólo al variar la distancia al centro de la Tierra en valores aproximadamente iguales al radio terrestre observaremos que la intensidad del campo varía considerablemente, pero sigue siendo constante en cada punto elegido.

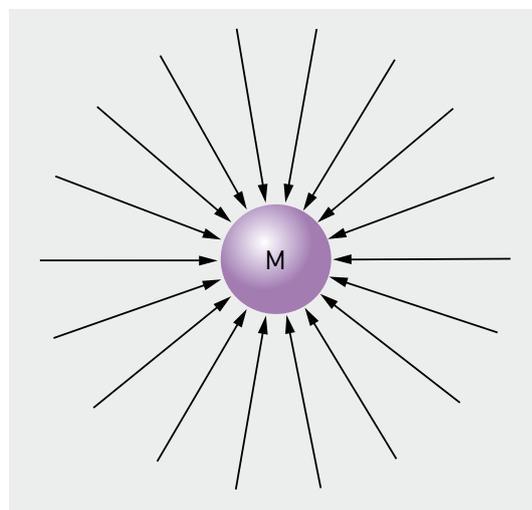


Variación de la intensidad del campo gravitatorio.

Como consecuencia de las experiencias realizadas podemos afirmar que cada punto del espacio que rodea a la Tierra se caracteriza por un **valor de campo gravitatorio**.

Otra observación a destacar es que ese vector campo apunta, al igual que la fuerza de atracción, siempre hacia el centro de la Tierra.

Esto nos permite dibujar líneas que coinciden con la dirección de los vectores de campo y que pasan por el centro de la Tierra llamadas **líneas de fuerza del campo**. Estas líneas de fuerza son útiles para mostrar como varía el campo punto a punto y cuál es su forma. En las zonas donde la densidad de las líneas es mayor diremos que el campo es más intenso.



Las flechas indican las líneas de fuerza del campo, que en este caso diremos que es radial y orientado hacia el centro de la Tierra. Cerca de la superficie terrestre, las líneas se hallan más juntas: esto indica que el campo es más intenso.

Teniendo en cuenta la fórmula de la intensidad de campo,  $g = F/m$ , definamos la unidad en que se mide el campo gravitatorio. Dado que la fuerza se mide en newtons y la masa en kilogramos, la unidad correspondiente es:

$$\text{Unidad de campo} = 1 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = \text{cte.}$$

Recordarás la expresión de la fuerza de interacción. Si la reemplazamos en la expresión de campo:

$$g = G \cdot \frac{M \cdot m}{m \cdot d^2}$$

O sea:

$$g = G \cdot \frac{M}{d^2}$$

donde **M** es la masa de la Tierra, **m** es la masa exploradora y **d** la distancia entre el punto considerado y el centro de la Tierra.

Esta expresión nos muestra que efectivamente la intensidad del campo sólo depende de la masa generadora y del punto considerado.

Si la masa generadora es muy pequeña, entonces, el campo que genera tendrá una intensidad muy débil y prácticamente no se detectarán fuerzas sobre otras masas colocadas en su entorno. Queda así justificado lo dicho en la página 36.

Podemos escribir ahora la fuerza que el campo ejerce sobre  $m$  en un punto como:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g}$$

Y si comparamos con la expresión ya aprendida para el peso de un cuerpo:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

vemos que lo que llamamos aceleración de la gravedad no es sino el vector campo gravitatorio en la proximidad de la Tierra.



## ACTIVIDADES

36. ¿Qué ocurre con el módulo del campo gravitatorio si varía la distancia  $d$  y dentro de qué rango? ¿Y con su dirección y sentido?
37. Sabiendo que el campo gravitatorio terrestre en un punto muy cercano a la superficie terrestre es  $\vec{g}$ , ¿qué sucede con la intensidad del campo si colocamos cuerpos de diferente masa en ese punto?
38. Si la masa de un planeta es la mitad que la de la Tierra y su radio es cuatro veces menor, ¿cómo será su campo gravitatorio en la proximidad de su superficie comparado con el de la Tierra?
39. ¿Podría ahora justificar con este criterio por qué el valor de la fuerza peso de un cuerpo permanece prácticamente constante en puntos próximos a la superficie terrestre y puede llegar a valores insignificantes en puntos infinitamente alejados de la Tierra?
40. Sabiendo que el campo gravitatorio terrestre vale en puntos cercanos a la superficie terrestre  $9,81 \text{ N/kg}$ , ¿cuánto valdrá el mismo en un punto a una distancia doble del radio terrestre?
41. ¿Cuál será el valor del campo gravitatorio en un punto infinitamente alejado de la superficie terrestre? ¿Cuál será su peso en ese punto?

Resolvamos juntos la actividad 37:

Conociendo la intensidad del campo gravitatorio en la proximidad de la Tierra y sabiendo que el mismo disminuye según el cuadrado de la distancia al punto considerado, podemos pensar que si  $d' = 2R$  observando la expresión

$$g = G \cdot \frac{M}{d^2}$$

vemos que  $G$  y  $M$  son las mismas en ambos casos.

Lo único que cambia es  $d$ , si ésta se duplicó, su cuadrado resultará cuatro veces mayor, es decir,  $d'^2 = 4R^2$ . Por lo tanto, el módulo del vector campo resulta 4 veces menor:

$$g' = \frac{9,81 \frac{\text{N}}{\text{C}}}{4}$$

$$g' = 2,45 \cdot \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

## ¿Cuál ha sido la ventaja de introducir el modelo de campo?

La teoría de Newton sobre la interacción a distancia era válida siempre y cuando se supusiese que ese “accionar” alcanzaba a los cuerpos en forma instantánea, lo que se demostró más tarde que no es cierto. Con el concepto de campo ahora reemplazamos la idea de interacción entre cuerpos por la de acción de un campo sobre una masa exploradora o testigo colocada en un punto de ese espacio.

Además del campo generado por un cuerpo caracterizado por su masa podemos mencionar otros tipos de campo que se relacionan con diferentes características de un cuerpo. Si nos referimos a la carga eléctrica de un cuerpo, podremos hablar de un campo eléctrico; si nos interesamos en sus propiedades magnéticas, podremos definir la existencia de un campo magnético.

Volveremos sobre este tema al referirnos a la energía eléctrica.



### ACTIVIDADES

42. Calcule la intensidad del campo gravitatorio generado sobre su superficie por un cuerpo esférico con una masa de 100 kg y un radio de 10 m.
43. ¿Será importante la acción que genere sobre otro cuerpo ubicado en su proximidad? Justifique.

## LA MÁQUINA DEL MUNDO

Con el afianzamiento de la nueva ciencia física, la matemática ocupó un lugar cada vez más preponderante en ella. La naturaleza presenta fenómenos que se cumplen con regularidad. La matemática se transformó, entonces, en una poderosa herramienta que permitió calcular y predecir movimientos, tiempos y fuerzas. Se determinó cada vez con mayor precisión desde el paso de cometas, como el Halley, hasta las trayectorias de los rayos de luz al atravesar las lentes.

Esta nueva ciencia de la naturaleza comenzó a formalizar matemáticamente cada concepto que construía. Al respecto, el mismo Galileo escribió:



El universo no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático y sus caracteres son triángulos, círculos u otras figuras geométricas, sin los cuales es imposible entender una sola palabra; sin ellos es como girar vanamente en un oscuro laberinto. (*Il saggiatore*, 1623.)

Una vez comprendida la relación matemática entre fuerzas y movimientos, se afianzó una concepción mecánica del universo conocida como **mecanicismo**.

Según esta visión, no existen fuerzas ocultas que den lugar a efectos inesperados.

Será el filósofo, matemático y físico francés René Descartes (1596-1650), contemporáneo de Newton, quien lleve esta idea hasta sus últimas consecuencias. Para él, el universo, funcionaba igual que una máquina: todos los fenómenos, incluso los relacionados con la vida, se podrían explicar a partir de las leyes del movimiento y de las fuerzas.

Fue tan poderosa esta postura que posteriormente hasta la psicología, la economía y otras ciencias humanas intentaron reducir al ser humano (o a la sociedad) a una compleja máquina de relojería.

Tal es el caso del filósofo inglés John Locke, amigo de Newton, que creía que el concepto de “ley de la naturaleza” era aplicable a la religión y al gobierno. Por ello se dedicó a desarrollar una nueva filosofía política, de la que más tarde se derivaría el sistema mecanicista de cheques y balances, idea nacida del concepto newtoniano de acción y reacción. El mismo Benjamin Franklin escribió una obra sobre las implicaciones filosóficas de los principios newtonianos: *Disertación sobre la libertad y la necesidad, sobre el placer y el dolor* (1724).

Habrà que esperar hasta fines del siglo XIX y principios del siglo XX para que este modelo puramente mecánico muestre sus deficiencias, aunque en muchos casos podríamos afirmar que aún sigue vigente.



## ACTIVIDAD

44. Actualmente decimos que la Matemática es una creación humana que puede utilizarse para interpretar los fenómenos naturales. Explique la diferencia con lo que sostenía Galileo.



## ACTIVIDADES INTEGRADORAS

- > ¿Por qué habrá perdurado tanto tiempo la hipótesis aristotélica de una Tierra quieta en el centro del universo?
  
- > Tome alguno de los temas trabajados a lo largo de esta unidad y escriba un guion para una obra de teatro. Tenga presente que una comprensión actualizada de una situación no puede ser reducida a una causa única, ni a una visión centrada en héroes y villanos. Si quiere profundizar en la cuestión que eligió, puede investigar qué sucedía en la época en que se estaba produciendo: afianzamiento de las monarquías absolutas, reforma, contrarreforma, humanismo, renacimiento, descubrimientos técnicos y geográficos, etc.

## UNIDAD 2

### El mundo mecánico de Newton

“La naturaleza y sus leyes permanecieron en la noche, Dios dijo ‘hágase Newton’, y todo fue luz”.

Alexander Pope (Inglaterra, 1688-1744)

(Poeta y admirador contemporáneo de Newton)

## INTRODUCCIÓN

La Mecánica es el estudio de las fuerzas y de los movimientos. Su origen se remonta a la antigua Grecia, pero alcanzó su significación actual con la obra de Sir Isaac Newton. En *Los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* (1687), se establecen las leyes que permitirán el análisis de los fenómenos naturales mediante la formalización matemática.

Con Newton se cierra un ciclo que había nacido con Copérnico. A partir de este momento, los científicos se ocuparán, entre otras tareas, de establecer nuevas leyes expresables matemáticamente en diversos campos de las ciencias como la óptica, la electricidad y la termodinámica.

En esta Unidad se van a presentar los conceptos clave de la Mecánica. A partir de su formalización, se podrán explicar y predecir gran cantidad de fenómenos cotidianos.

Las preguntas que siguen le servirán de guía para orientarse en el desarrollo de esta unidad:

- ¿Qué conceptos fundamentales resultan útiles para explicar los fenómenos de la naturaleza desde una perspectiva mecánica?
- ¿Qué es el movimiento? ¿Cuál es la diferencia entre velocidad y aceleración? ¿Y entre masa y peso?
- ¿Cómo se explica que dos objetos que se dejan caer libremente desde la misma altura y al mismo tiempo lleguen al suelo simultáneamente?
- ¿Cuál es el lugar que ocupan dentro de las ciencias las leyes de Newton? ¿Cuál es su valor en el marco del pensamiento humano?

## PROBLEMAS PARA DESCRIBIR EL MOVIMIENTO

El movimiento es un fenómeno que observamos cotidianamente en nuestro entorno. Todos los objetos se mueven, aunque en algunos casos en un grado imperceptible para nuestros sentidos. Gran diversidad de procesos pueden describirse y explicarse a partir del movimiento de cuerpos y partículas. Incluso el funcionamiento y la dinámica del Universo pueden ser interpretados a partir del análisis del movimiento de los cuerpos celestes y de las fuerzas que actúan sobre ellos.

Pero, ¿qué es el movimiento? Esta pregunta parece sencilla a primera vista, pero no es fácil de responder, como ya hemos vislumbrado en la Unidad anterior.

Le proponemos que intente formular una respuesta como primera aproximación.



Exhibición de capoeira, arte marcial afro-brasileño.



### ACTIVIDAD

1. Supongamos que Luis viaja cómodamente sentado en la butaca de un tren absorto en la lectura de un libro. Esta persona ¿"se mueve" o "está quieta"? Considere cada una de las siguientes situaciones:
  - a. El tren se desplaza de una estación a otra.
  - b. El tren se detiene en una estación y Luis sigue sentado.
  - c. El tren se cruza con otro tren que se dirige en sentido contrario y Valeria, que viaja en este último, observa a Luis. ¿Qué diría Valeria sobre Luis, que se mueve o que está quieto? ¿Qué diría Luis sobre Valeria?

Intentemos ahora reflexionar juntos sobre esta cuestión.

#### Caso a

Si Luis está en el tren y este se desplaza, entonces Luis también está en movimiento respecto de la Tierra. Pero también es válido afirmar que Luis está “quieto” respecto de la butaca (o del tren).

#### Caso b

Si el tren está detenido y Luis sigue sentado, entonces Luis está “quieto” respecto del tren y respecto de la Tierra. Pero también es válido sostener que se mueve respecto del Sol, ya que nuestro planeta (y todo lo que en él se encuentra) gira a su alrededor.

#### Caso c

Valeria viaja en el tren que se dirige en sentido contrario al de Luis. Ella puede afirmar que Luis se desplazó junto con el tren en que viaja, mientras que ella está en reposo.

Sin embargo, también puede sostener que el tren de Luis (y él mismo) se encontraba en reposo, mientras que ella se movía en su tren respecto del suelo. Finalmente, también podría sostener que los dos se movían en sentidos contrarios. Lo interesante es que todas las afirmaciones son válidas.



Probablemente le haya ocurrido estar sentado en un tren detenido en una estación y encontrarse con otro tren también detenido que se dirigía en sentido contrario. De repente, habrá notado que algún tren se movía, pero sin saber cuál de los dos era. Tal vez pensó que era su propio tren que arrancaba, o que el otro lo hacía en sentido contrario, o posiblemente que fueran ambos a la vez. Sin embargo, no estaba seguro. Sólo pudo darse una respuesta luego de observar y comparar con un árbol, o con la estación misma.

## EL SISTEMA DE REFERENCIA

Como habrá podido notar, el **movimiento es relativo**. Para describir el movimiento de un cuerpo fue necesario previamente elegir como referencia otro cuerpo que se considerara fijo. Por practicidad, nunca es conveniente elegir como referencia un cuerpo en movimiento acelerado, por ejemplo, en caída libre.

Una opción más precisa, consiste en elegir arbitrariamente un sistema de referencia fijo (sea o no un cuerpo). A dicho sistema se le asigna un origen de referencia, también arbitrario. En nuestro país, una ruta nacional puede considerarse un sistema de referencia, cuyo origen (kilómetro cero), se encuentra frente al Congreso de la Nación. La distancia a cualquier pueblo sobre la ruta, se calcula a partir del monolito que se encuentra en la Plaza de los Dos Congresos.

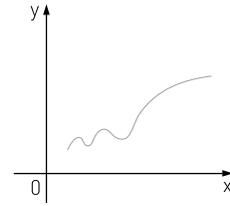
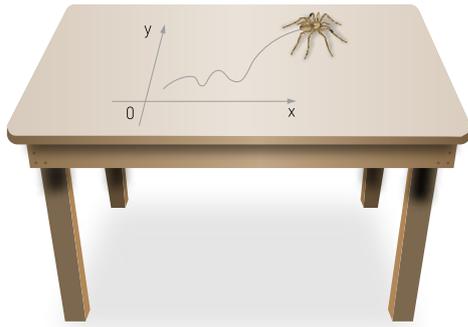
Ahora estamos en condiciones de responder la pregunta inicial sobre el movimiento.



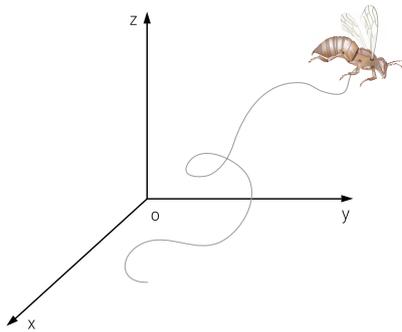
Decimos que **un cuerpo se mueve con respecto a un origen de referencia que se considera fijo, si cambia de posición al transcurrir el tiempo.**

Una forma muy útil y simple de expresar la posición de un cuerpo es mediante un sistema de referencia con coordenadas cartesianas  $x$  e  $y$  en el plano. Dicho sistema se conoce como **sistema de coordenadas cartesianas**, como ya habrá aprendido en Matemática.

Las sucesivas posiciones tomadas por el cuerpo determinan una línea que puede ser curva o recta y a la que llamamos **trayectoria del cuerpo puntual.**



Trayectoria en un plano.



Trayectoria en el espacio tridimensional.

En síntesis, el movimiento es relativo porque “depende” del sistema de referencia elegido. Para poder describirlo correctamente, es conveniente considerar un sistema de referencia fijo.



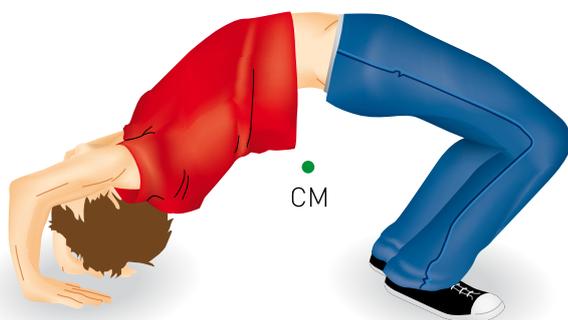
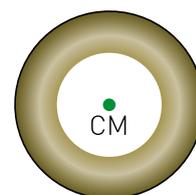
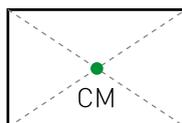
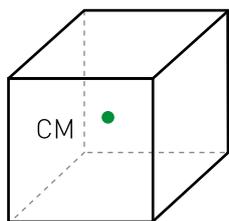
## ACTIVIDADES

2. ¿Por qué es necesario considerar un sistema de referencia para describir un movimiento?
  - a. Establezca la diferencia entre un sistema de referencia y un sistema de coordenadas.
  - b. Ejemplifique la función de cada uno de los sistemas con situaciones concretas.
3. Explique el movimiento del Sol y de las estrellas según los modelos geocéntrico y heliocéntrico. ¿Cuál es el cuerpo de referencia en cada caso?
4. Identifique la forma de las trayectorias de los siguientes cuerpos en movimiento y luego gráfíquelas:
  - a. Un velocista durante una carrera de 100 m.
  - b. Un planeta que se mueve alrededor del Sol.
  - c. Un niño sentado en una calesita en movimiento.
  - d. Un proyectil disparado por un cañón.

## EL CUERPO PUNTUAL

Dado que los cuerpos reales son extensos (tienen dimensiones y volumen), es conveniente tomar un punto en ellos que lo represente. Tomaremos su **centro de masa**, que es el punto alrededor del cual se distribuye toda la masa del cuerpo.

El centro de masa no necesariamente coincide con el centro geométrico del cuerpo. ¿Se le ocurre algún ejemplo?



El centro de masa (CM) puede estar dentro o fuera del cuerpo, y puede coincidir o no con el centro geométrico.

En un cuerpo en movimiento, el centro de masa se desplaza como si toda la masa estuviese contenida en ese punto.

Todas las posiciones y distancias se medirán desde el centro de masa del cuerpo: hemos así inventado el **cuerpo puntual**: este es un **cuerpo idealizado**, inexistente, pero muy práctico para resolver problemas y realizar cálculos.

De aquí en más, cuando hablemos de cuerpos o móviles estaremos refiriéndonos a cuerpos puntuales y móviles puntuales, a menos que se haga una aclaración explícita.

## RAPIDEZ MEDIA Y RAPIDEZ INSTANTÁNEA

Hemos dicho que un cuerpo en movimiento recorre una cierta distancia en un intervalo de tiempo determinado. Un automóvil en movimiento puede recorrer una determinada cantidad de kilómetros en una hora, mientras que un caracol puede recorrer una determinada cantidad de metros en una hora.

Tomemos el caso de dos automóviles, A y B, que se mueven. Supongamos que el auto A recorrió 40 km en una hora, mientras que el auto B recorrió 60 km en el mismo tiempo. ¿Cuál de los dos fue el más rápido?

La primera respuesta que se nos puede ocurrir es que el más veloz fue el auto B, porque logró recorrer una mayor distancia en el mismo tiempo que A. Sin embargo, hay un aspecto que se nos puede estar escapando. El auto A pudo estar detenido por media hora en medio de la ruta, sin que nosotros nos enteráramos. Finalmente, el auto A pudo haber sido el más veloz.

Para evitar este tipo de inconvenientes, los físicos definieron dos conceptos diferentes: la **rapidez media** y la **rapidez instantánea**.

La rapidez media es una magnitud que nos permite comparar las relaciones entre las distancias recorridas y los tiempos empleados durante todo el viaje de un móvil sin tener en cuenta los detalles particulares del movimiento (aceleraciones, frenadas, detenciones). Sólo importa cuánta distancia total recorrió el móvil y cuánto tiempo total invirtió en hacerlo.

Formalmente, la rapidez media puede expresarse así:

$$\text{rapidez media} = \frac{\text{distancia total recorrida}}{\text{tiempo transcurrido}}$$

Simbólicamente:

$$r_m = \frac{d}{t}$$

En general, la unidad de rapidez es una unidad de longitud dividida por una unidad de tiempo: km/h; milla/min; año luz/s, etc. En el Sistema Internacional es el **metro por segundo**: m/s (se escribe: metro sobre segundo).

En el ejemplo anterior, diremos que la rapidez media del auto B es:

$$r_m = \frac{60 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 60 \text{ km/h (se lee: 60 kilómetros por hora)}$$

Es decir que por cada hora, el auto recorrerá 60 km de longitud, si mantiene constante este valor de rapidez.

Por su parte, la rapidez media del auto A fue entonces de 40 km/h. Si mantiene constante este valor de rapidez, este automóvil recorrerá 40 km por cada hora que transcurra.

En la vida real, un auto no se desplaza siempre con la misma rapidez. Puede reducirla al llegar a un cruce de calles y luego aumentarla nuevamente, superando en algún punto del recorrido el valor medio estimado para todo el movimiento. Por esta razón, para estos casos más complejos se define la rapidez instantánea, que nos permite obtener información sobre la rapidez de un cuerpo en un instante determinado y en un punto específico del recorrido. Podemos preguntarnos entonces: ¿el velocímetro de un automóvil, indica una rapidez media o una rapidez instantánea?



Velocímetro.

## Velocidad

En el lenguaje cotidiano usamos el término velocidad como sinónimo de rapidez. Podemos preguntar, por ejemplo, cuál es la velocidad del auto cuando tal vez queremos referirnos simplemente a su rapidez. En el lenguaje de la Física diferenciamos cada uno de estos conceptos.

Se llama **rapidez** al valor de la velocidad instantánea, por ejemplo 20 m/s, 30 km/h, etc. Las magnitudes que indican sólo la cantidad numérica (con su respectiva unidad) se denominan escalares: **la rapidez es una magnitud escalar**. Se la representa con una **v**.

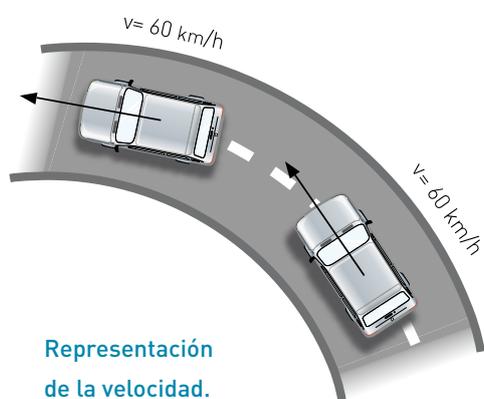
La rapidez puede indicar cuanto se desplaza en la unidad de tiempo, pero no nos dice nada de hacia dónde lo hace. Por ejemplo, si alguien dice que la rapidez de un auto es de 80 km/h, se puede suponer que, media hora después habrá recorrido una distancia de 40 km pero no se sabrá si lo hizo hacia el norte o el este u otra dirección y sentido.

Un vector es un segmento orientado cuyos elementos son: un punto de aplicación, un módulo (representado por la longitud del segmento), una dirección (la recta sostén del segmento) y un sentido (una de las dos orientaciones posibles del segmento dirigido, representado por la flecha).



La **velocidad** es la magnitud física que nos informa no sólo la rapidez de un cuerpo en movimiento, sino también su dirección y sentido, por ejemplo, 70 km/h hacia el Oeste.

La **velocidad es una magnitud vectorial** y se representa con una  $\vec{v}$ .



No es lo mismo velocidad constante que rapidez constante. **La velocidad de un móvil puede cambiar aunque su rapidez se mantenga constante.** Si un automóvil toma una curva con una rapidez constante de 60 km/h, este valor no cambia. Pero su velocidad sí ha variado, porque cambió la dirección del vector velocidad.

La velocidad de un móvil viene dado por su módulo (rapidez), dirección (recta sobre la que se encuentra el vector) y sentido (la flecha que señala uno de las dos orientaciones posibles).

De la misma manera que nos ocurrió con el concepto de rapidez, también podemos definir los conceptos de **velocidad media** y de **velocidad instantánea**.



## ACTIVIDAD

- ¿Por qué podemos afirmar que un conductor posee tres elementos para cambiar la velocidad de un automóvil: acelerador, freno y volante?
- Calcule la rapidez media de un ómnibus que viaja desde Buenos Aires hacia Córdoba, sabiendo que la distancia entre estas dos ciudades es de, aproximadamente, 700 km y el tiempo empleado por el micro en recorrer esta distancia es de unas 9 h.
- Un auto recorrió 100 km en 1h, luego otros 50 km en 1 h y finalmente otros 50 km en 30 min. ¿Cuál fue la rapidez media de este auto en cada tramo? ¿Cuál fue la rapidez media a lo largo de todo el viaje?
- Calcule la distancia recorrida por un tren que se desplaza con una rapidez constante de 80 km/h desde una estación a otra si el tiempo que emplea para recorrer esa distancia es de 5 min.

## ACELERACIÓN MEDIA Y ACELERACIÓN INSTANTÁNEA

Cuando un conductor de un automóvil intenta pasar a otro en la ruta, aprieta el acelerador para lograrlo en el menor tiempo posible. Los vehículos modernos se diseñan y fabrican buscando lograr mayores aceleraciones para ser más seguros técnicamente. En el lenguaje cotidiano, acelerar solamente significa aumentar el valor de la velocidad (rapidez).

En el lenguaje de la Física, **acelerar implica variar la velocidad**. El vector velocidad de un móvil que se desplaza puede cambiar por tres causas: porque varía su rapidez, o bien su dirección, o ambas cosas. En los tres casos, el móvil aceleró.

Además, el concepto físico de aceleración incluye tanto el aumento como la disminución de la rapidez, aunque en el último caso también se suele hablar de desaceleración.

Un niño en una calesita puede rotar con rapidez aproximadamente constante. Pero su velocidad cambia punto a punto en su trayectoria, ya que varía la dirección del vector velocidad. El niño está siendo acelerado. La fuerza que "siente" hacia fuera al girar rápidamente es una manifestación de esta aceleración. Lo mismo sucede al tomar una curva en un vehículo. Aunque la rapidez sea aproximadamente constante, "sentimos" una fuerza hacia fuera de la curva porque hay aceleración, como analizaremos detenidamente más adelante.

La magnitud que nos informa acerca del cambio del vector velocidad en un intervalo de tiempo se denomina **vector aceleración media**.

Si el movimiento es rectilíneo, la velocidad no puede cambiar de dirección pues siempre se mueve en una recta. Lo que puede cambiar es el módulo del vector velocidad, o sea la rapidez.

En movimientos rectilíneos, la magnitud que da cuenta del cambio de rapidez en la unidad de tiempo determinado se llama **aceleración media** y se puede expresar como:

$$a_m = \frac{\text{variación (cambio) de la rapidez}}{\text{tiempo transcurrido}} = \frac{\text{rapidez final} - \text{rapidez inicial}}{\text{tiempo transcurrido}}$$

Simbólicamente:

$$a_m = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v - v_0}{t}$$

La **aceleración media** indica la variación de la rapidez experimentada por el móvil en la unidad de tiempo.

Cuando el intervalo de tiempo transcurrido es infinitamente pequeño, hacemos referencia a la **aceleración instantánea**, que nos informa del valor de la aceleración en cada instante.

En general, la unidad de aceleración es una unidad de velocidad dividida por una unidad de tiempo al cuadrado: km/h<sup>2</sup>; m/s<sup>2</sup>; etc. En el Sistema Internacional, la unidad es el metro por segundo al cuadrado: m/s<sup>2</sup>.

La aceleración, como luego veremos con más detalle, es una magnitud vectorial.

En un movimiento rectilíneo, una aceleración de 7 m/s<sup>2</sup> indica que el móvil varía su rapidez en 7 m/s por cada segundo de movimiento. Si estaba inicialmente detenido, al cabo de 1 s alcanzará una rapidez de 7 m/s; a los 2 s será de 14 m/s; y así sucesivamente.

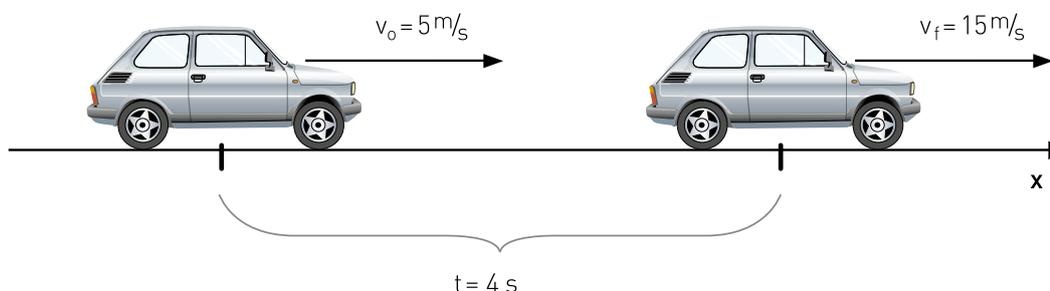
Veamos un ejemplo:

Si la rapidez de un móvil aumenta constantemente desde 5 m/s hasta 15 m/s en un intervalo de 4 s, la aceleración media es:

$$a_m = \frac{15 \text{ m/s} - 5 \text{ m/s}}{4 \text{ s}}$$

$$a_m = 2,5 \text{ m/s}^2$$

El significado físico de la aceleración calculada es el siguiente: la rapidez de este móvil, durante el intervalo considerado, aumentó 2,5 m/s por cada segundo.



## MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS

Si un cuerpo recorre distancias iguales en iguales intervalos de tiempo el movimiento se denomina uniforme, porque la rapidez es constante. Si además su trayectoria es rectilínea se dice que se trata de un **movimiento rectilíneo uniforme** o **MRU**.

Por ejemplo, si una persona camina al “mismo ritmo” por un sendero recto, decimos que describe un MRU pues en tiempos iguales (por ejemplo por minuto) recorre las mismas distancias.

En un MRU el vector velocidad es constante (no varía ni el módulo ni el sentido).

Si un cuerpo que se mueve en cualquier trayectoria cambia su rapidez y/o dobla, es decir, cambia su velocidad (módulo y/o dirección) decimos que el movimiento es variado y si el movimiento, además es rectilíneo se lo llama **movimiento rectilíneo variado**. Todo movimiento variado tiene aceleración.

En un movimiento rectilíneo variado, la velocidad cambia sólo si cambia el módulo (o sea la rapidez) instante a instante ya que si doblase dejaría de tener la dirección rectilínea.

Si, el movimiento de un cuerpo es rectilíneo y además su aceleración constante (no varía), el **movimiento se denomina movimiento rectilíneo uniformemente variado** o **MRUV**.

Un cuerpo que se mueve con un MRUV tiene aceleración constante, en la misma dirección de la velocidad. Si la aceleración tiene el mismo sentido que el de la velocidad se llama **movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)** y si tiene sentido contrario se lo llama **movimiento rectilíneo uniformemente retardado (MRUR)**.



### ACTIVIDADES

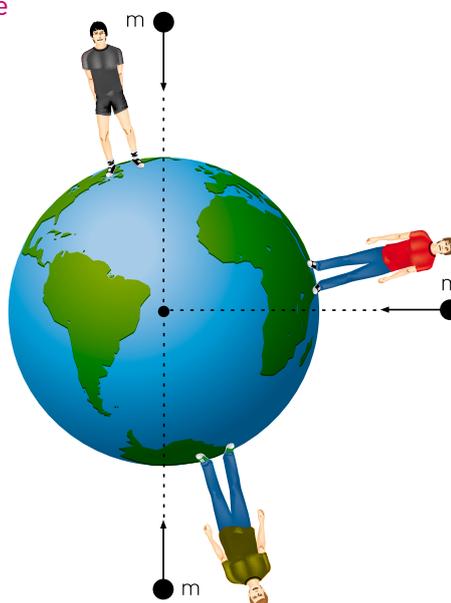
9. Explique la diferencia entre los conceptos de velocidad y aceleración.
10. Decimos que la aceleración es un vector: ¿siempre apuntará en el sentido del movimiento? Justifique su respuesta.
11. Un móvil viaja con una rapidez de 20 m/s y comienza a frenar. Al cabo de 5 s su rapidez es de 10 m/s. ¿Cuál es la aceleración media en ese intervalo?
12. Un automóvil que viaja a una velocidad de valor igual a 28 m/s comienza a frenar con una aceleración constante cuyo valor es de 4 m/s<sup>2</sup>. ¿En qué intervalo de tiempo se detiene?

# CAÍDA LIBRE



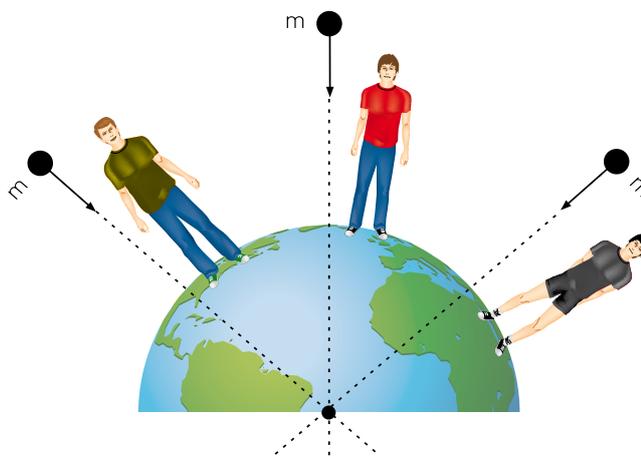
## ACTIVIDAD

13. Explique y ejemplifique qué entiende por caída libre.



En la Unidad anterior hemos visto cuál era la hipótesis aristotélica acerca de la caída de los cuerpos: los cuerpos más pesados llegan con mayor rapidez al suelo. Los trabajos posteriores de Galileo pondrían en duda esta hipótesis. El rozamiento del cuerpo con el aire ofrece resistencia durante el movimiento de caída, y hoy sabemos que los cuerpos en el vacío caen con la misma rapidez, dentro del rango de error experimental.

Ahora nos proponemos analizar más detenidamente las características de este movimiento, mediante la aplicación de los conceptos de velocidad y aceleración.



Si usted suelta un objeto, este caerá en dirección al centro de la Tierra.

Se llama **caída libre** al movimiento vertical de caída bajo la sola acción de la gravedad.

Todos los cuerpos que caen libremente tienen un movimiento acelerado, vertical y hacia el centro de la Tierra. En realidad, es un movimiento idealizado, dado que también interviene la fricción y, por ende, las fuerzas de rozamiento.

Consideremos un cuerpo sostenido a una altura determinada. Inicialmente la velocidad del objeto vale 0 m/s, dado que se encuentra en reposo y no se le aplica ningún "empujón". Luego se lo suelta y se lo deja caer libremente. Mientras cae, la rapidez del objeto aumenta, pero no la aceleración. La aceleración que adquiere es la aceleración de la gravedad, que llamaremos **g**. Su valor depende de la masa del planeta (**M**) y de la distancia (**R**) de su centro al objeto (que es aproximadamente igual al radio del planeta).

La expresión matemática para obtener el valor de **g**, conociendo **M** y **R** es la siguiente:

$$g = \frac{G \cdot m}{d^2}$$

donde **G** es el valor de una constante llamada constante de gravitación universal cuyo valor es

$$G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{kg} \cdot \text{s}^2$$

En la Tierra, como la distancia del centro del planeta a un lugar de su superficie varía levemente (no es una esfera perfecta), el valor de la aceleración de la gravedad no es igual en todos los puntos de la superficie terrestre. Por ejemplo, en el ecuador es de 9,78 m/s<sup>2</sup> y en los polos es de 9,83 m/s<sup>2</sup>.

A 45° de latitud y a nivel del mar el valor de **g** es 9,81 m/s<sup>2</sup> y es el que en muchos estudios se toma como representativos de la aceleración de la gravedad en la superficie terrestre o en sus proximidades.

Dado que el valor de **g** es de aproximadamente 10 m/s<sup>2</sup>, esto significa que cada segundo, el objeto aumenta su rapidez en aproximadamente 10 m/s. Como parte del reposo, luego de 1 segundo la rapidez instantánea adquirida será de unos 10 m/s.

A los 2 segundos, la rapidez habrá aumentado en 10 m/s con respecto al primer segundo. Por lo tanto será de unos 20 m/s. A los 5 s, la rapidez instantánea adquirida por el objeto será de unos 50 m/s; y así sucesivamente.

Dado que, a diferentes alturas cercanas a la superficie terrestre, las diferencias de  $g$  no son significativas, podemos considerar que mientras cae, la rapidez del objeto aumenta, pero la aceleración se mantiene constante.

Es importante notar que la aceleración de la gravedad es independiente de la masa del objeto que cae (ver que en la ecuación anterior no figura la masa  $m$  del cuerpo que desciende). Por tal razón, caerán con la misma rapidez un elefante y un ratón, si se los suelta desde la misma altura y al mismo tiempo y en ausencia de rozamiento por fricción.

## Cálculo de la velocidad y de la distancia recorrida en caída libre

La rapidez de un objeto en caída libre aumenta con el paso del tiempo, debido a la aceleración de la gravedad. La rapidez instantánea de un objeto que cae libremente puede expresarse matemáticamente como:

$$v = g \cdot t$$

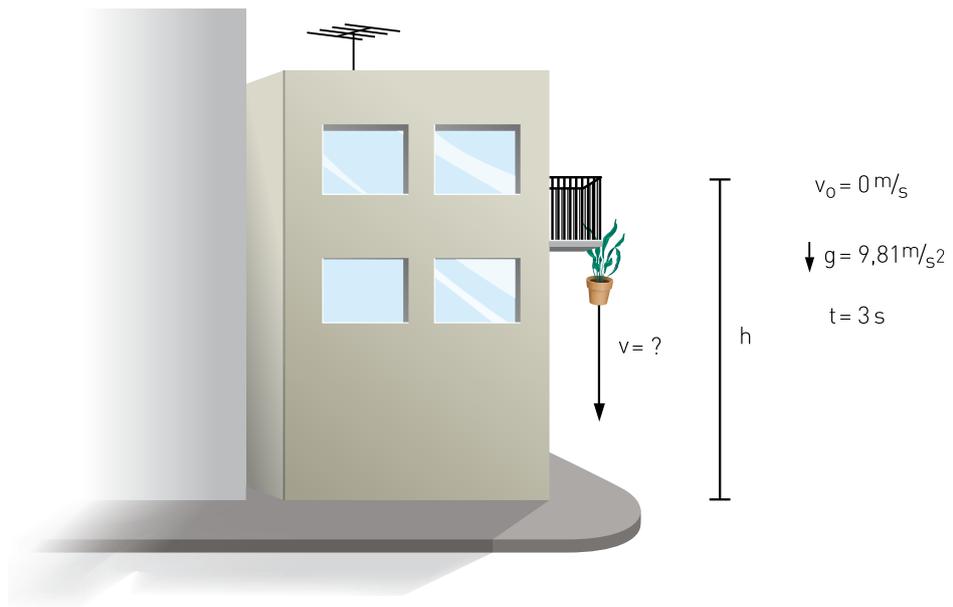
A su vez, la distancia total recorrida se calcula mediante:

$$d = 1/2 g \cdot t^2$$

Veamos un ejemplo:

Una maceta se cae desde un balcón y llega al suelo en 3 s.

- ¿Cuál es la rapidez de la maceta al llegar al suelo?
- ¿A qué altura se encontraba antes de caer?



### Resolución:

a. Sabiendo que

$$v = g \cdot t$$

tenemos una rapidez de:

$$v = 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3 \text{ s} = 29,43 \text{ m/s}$$

Podemos expresar este valor de velocidad en km/h. Si tenemos en cuenta que  $1 \text{ km} = 1.000 \text{ m}$  y que  $1 \text{ h} = 3.600 \text{ s}$ , estas equivalencias nos permiten hacer el siguiente pasaje de unidades:

$$29,43 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 29,43 \frac{0,001 \text{ km}}{1:3.600 \text{ hs}} = 106 \text{ km/h (aproximadamente)}$$

¡Mejor que esta maceta no caiga sobre nuestra cabeza!

b. Ahora calculemos a qué altura se encontraba el balcón desde el cual cayó la maceta.

Como:

$$d = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

tenemos que:

$$d = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 9 \text{ s}^2 = 44 \text{ m}$$



## ACTIVIDADES

14. Identifique los factores que intervienen en la caída de los cuerpos.
15. Responda y justifique sus respuestas.
  - a. ¿El salto de un paracaidista desde un avión es un movimiento de caída libre? ¿Por qué?
  - b. Si se deja caer un objeto en la Luna ¿se puede considerar una caída libre? ¿Por qué?
16. Un famoso experimento realizado por el astronauta David Scott (1971) en la Luna consistió en soltar al mismo tiempo y desde la misma altura un martillo y una pluma de halcón. Para asombro de la mayoría de los televidentes, ambos llegaron simultáneamente al suelo. Elabore un informe escrito a partir de las siguientes preguntas:
  - a. ¿Cómo explicaría el fenómeno observado?
  - b. ¿Por qué los televidentes se asombraron?
  - c. ¿Los elementos cayeron con la misma rapidez que en nuestro planeta?
17. La masa de la Luna es de  $7,35 \cdot 10^{22}$  kg y su radio medio es de 1.738 km. Calcule su aceleración gravitatoria en  $\text{m/s}^2$  (encontrará el valor de G en la Unidad 1).
18. Desde lo alto de una torre se deja caer una esfera metálica que llega al suelo en 5 s. Calcule la altura de la torre y la rapidez de la esfera al llegar al suelo.
19. ¿Cuánto tiempo después de iniciada su caída en el vacío la rapidez de un cuerpo alcanza un valor de 37 m/s?
20. Discutan en el grupo, ¿cómo calcularían la altura de un edificio valiéndose de una piedra? Intercambien ideas y construyan entre todos un método

## RELACIÓN ENTRE FUERZA Y MOVIMIENTO

¿Cuál es la causa de los movimientos?

Como hemos visto, esta pregunta ha sido respondida desde la antigüedad de diversas maneras. La **Ley de Inercia** o **Primera ley de Newton** (llamada así en honor a su autor) plantea que los cuerpos en movimiento se mantienen en dicho estado mientras no actúe ninguna fuerza sobre ellos. La fuerza se necesita solamente para ponerlos inicialmente en movimiento. Luego, y en ausencia de fuerzas de frenado o de rozamiento, el móvil se mantendrá en movimiento rectilíneo y uniforme.

Por otro lado, si una fuerza neta actúa constantemente sobre un cuerpo, entonces este cambiará su velocidad mientras dicha fuerza actúe. Es el caso de la caída libre.

A medida que la piedra cae bajo la acción constante de la fuerza gravitatoria, su rapidez aumenta. Por el contrario, si la piedra se lanza desde el suelo verticalmente hacia arriba contra la fuerza gravitatoria, su rapidez disminuye hasta frenarse por completo: la fuerza gravitatoria actuó constantemente sobre la piedra hasta detenerla. Este último tipo de movimiento se denomina  **tiro vertical**.

En síntesis, un objeto puede desplazarse bajo la acción de una fuerza variando su velocidad. Pero también puede desplazarse por inercia, manteniendo su velocidad constante.

### ¿Qué es una fuerza?

Hasta el momento, hemos hablado de fuerzas sin preocuparnos por su conceptualización. Esta es nuestra próxima tarea.

Si deseamos mover un objeto que se halla en reposo necesitaremos aplicar una fuerza. Si queremos frenarlo porque se encuentra en movimiento, también necesitaremos aplicar una fuerza. Esto nos permite decir que, **en términos de Newton, una fuerza es aquello capaz de cambiar la velocidad de los objetos**.

Una fuerza puede mover una mesa inicialmente en reposo, detener un auto a gran velocidad, deformar cuerpos de diferentes materiales como una esponja o una plastilina. Estas fuerzas son las denominadas **por contacto**.

También una fuerza puede atraer un cuerpo hacia otro. El Sol atrae a la Tierra y un imán atrae a objetos de hierro, sin contacto directo entre los cuerpos. Estas fuerzas son las llamadas **a distancia**.

Las fuerzas aplicadas sobre los cuerpos se ponen de manifiesto a través de los “efectos” que provocan sobre dichos cuerpos. Nunca nadie ha visto una fuerza.

Una fuerza es, en última instancia, una creación humana que permite explicar gran diversidad de fenómenos naturales.

## Fuerza y aceleración

Ya hemos logrado establecer el concepto de fuerza a partir de sus efectos. Ahora nos ocuparemos de cuantificar dichos efectos. La cuantificación y definición del concepto de fuerza, tal cual lo conocemos hoy, la debemos a Isaac Newton. Tras varios años de trabajo, logró relacionar y completar los conocimientos alcanzados por sus antecesores.

Una fuerza provoca cambios en el movimiento de un cuerpo. Si queremos duplicar la aceleración de un cuerpo, es necesario duplicar también la fuerza aplicada.

Existe una **relación de proporcionalidad directa entre la fuerza y la aceleración**.

Intuitivamente sabemos que resulta más “fácil” empujar una silla que un auto.

Si  $m = \text{constante}$ :  $F > f \Rightarrow A > a$



A igual masa, si aumenta la fuerza aplicada, entonces aumenta la aceleración.

Si mantenemos la fuerza constante, cuanto menor sea la masa del cuerpo mayor será su aceleración, y viceversa. **La aceleración resulta inversamente proporcional a la masa del cuerpo**.

Si  $F = \text{constante}$ :  $M > m \Rightarrow a < A$



A igual fuerza aplicada, si aumenta la masa, entonces disminuye la aceleración.

La formalización de estas dos ideas se conoce como **Ley de Masa** o **Segunda ley de Newton** en honor a su autor. La misma puede reescribirse de la siguiente manera:

Quando sobre un cuerpo se aplica una fuerza, este adquiere una aceleración cuyo valor es directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa del cuerpo. Además, la aceleración adquirida tiene la misma dirección y sentido que la fuerza.

Simbólicamente:

$$a = \frac{F}{m}$$

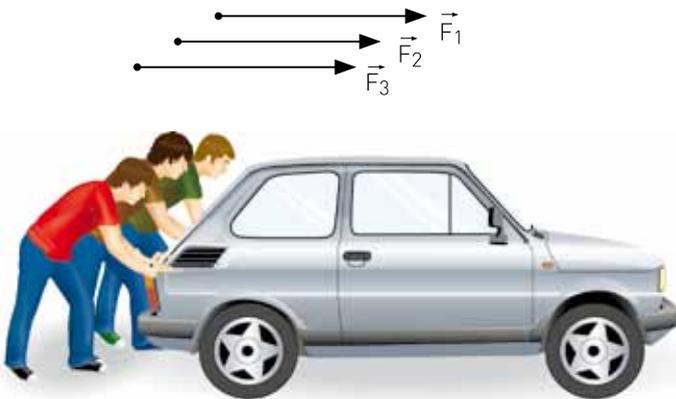
O lo que es lo mismo:

$$F = m \cdot a$$

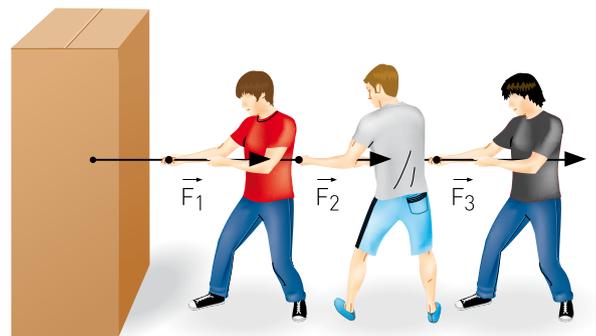
Si sobre el cuerpo actúan varias fuerzas, la aceleración total se deberá a “la suma de todas las fuerzas externas” (o fuerza total). Simbólicamente:

$$\Sigma F = m \cdot a$$

donde la notación  $\Sigma F$  significa sumatoria de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.



$$F_T = F_1 + F_2 + F_3$$



$$F_T = F_1 + F_2 + F_3$$

Sólo cuando las fuerzas se ejercen sobre el mismo cuerpo y en el mismo sentido es posible sumarlas numéricamente.



## ACTIVIDADES

21. Explique el concepto de fuerza y mencione situaciones cotidianas que ejemplifiquen sus argumentaciones.
22. La afirmación “Pablo tiene mucha fuerza y por eso pudo mover el ropero” no tiene sentido desde el punto de vista de la Física. ¿Por qué?
23. Si se ejerce una fuerza sobre un carrito de compras, este se acelera. ¿Qué ocurre con la aceleración si se triplica la intensidad de la fuerza aplicada al carrito?
24. A un carrito de compras cargado de algunos elementos se le aplica una fuerza y entonces se acelera. ¿Qué ocurre con la aceleración si se duplica la masa del sistema y se mantiene la misma intensidad de la fuerza?

## Unidades de masa y de fuerza

Un **sistema de unidades** es un conjunto de unidades de medida seleccionadas por una comunidad para medir distintas magnitudes con el fin de poder entenderse entre los miembros de esa comunidad. Hay varios sistemas de mediciones, en la Argentina se utiliza el **Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)** que se basa en otro sistema llamado **Sistema Internacional**.

Por lo general, cada sistema de unidades define pocas unidades de medida que se llaman fundamentales y a partir de éstas se derivan las restantes. Por ejemplo, para el SIMELA entre las unidades de medidas fundamentales están la de longitud, el metro (m); la de tiempo, el segundo (s), y la de masa, el kilogramo masa (kg). De esas unidades derivan otras como la velocidad (m/s) y la aceleración (m/s<sup>2</sup>).

La unidad fuerza en el SIMELA se llama Newton (N) y también es una magnitud derivada que se obtiene a partir de la Segunda Ley de Newton:

$$F = m \cdot a$$

Un Newton se define como la fuerza necesaria para acelerar 1m/s<sup>2</sup> un cuerpo cuya masa es de 1 kg. Por lo tanto,  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1\text{m/s}^2 = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$

Otro sistema de unidades que entró en desuso es el llamado Sistema Técnico, cuya unidad de fuerza se utiliza mucho en la vida cotidiana: es el kilogramo fuerza (kgf).

La equivalencia entre las dos unidades de fuerza es la siguiente:

$$1 \text{ kgf} = 9,8 \text{ N}$$

Veamos un ejemplo de aplicación de la ley de masa:

¿Qué aceleración adquiere un cuerpo de 4 kg de masa cuando se le aplica una fuerza total de 8 N?

Como  $F = m \cdot a$ ,  
podemos calcular la aceleración despejando  $a$  de esta ecuación.

Si  $F = 8 \text{ N}$  y  $m = 4 \text{ kg}$

$$\text{Luego } a = \frac{F}{m} = \frac{8 \text{ N}}{4 \text{ kg}} = \frac{8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{4 \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$$



## ACTIVIDAD

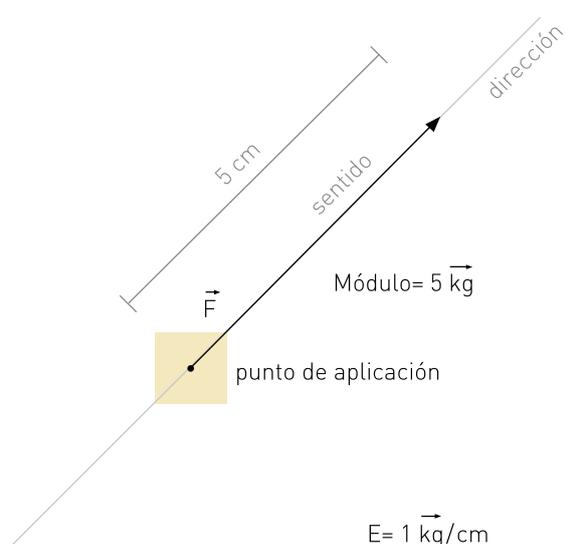
25. Resuelva las siguientes situaciones:

- Un cuerpo de 20 kg se mueve con una aceleración de  $3 \text{ m/s}^2$ . Determine la intensidad de la fuerza ejercida sobre dicho cuerpo.
- Sobre un objeto cuya masa es de 5 kg se aplican simultáneamente dos fuerzas. La primera de 10 N hacia la derecha y la segunda de 6 N hacia la izquierda. ¿Cuál será la aceleración final del objeto? ¿En qué sentido?

## El vector fuerza

**Las fuerzas son el producto de la interacción entre los cuerpos.** Cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo es necesario saber cuál es la intensidad de la fuerza aplicada, pero también la dirección y el sentido, pues es una magnitud vectorial.

Muchas magnitudes físicas, en particular las fuerzas, se representan por vectores.

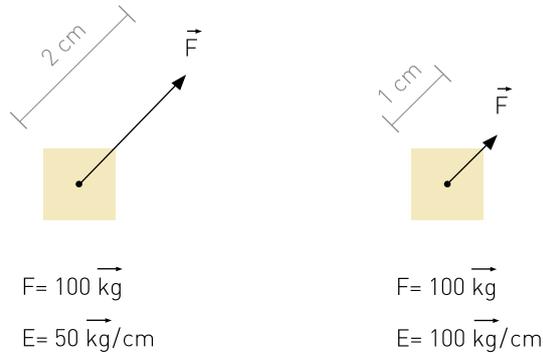


Un **vector** es un segmento orientado, similar a una flecha, que se caracteriza por tener:

- **Origen:** es el punto donde nace el vector, uno de los extremos del segmento.
- **Dirección:** es la recta a la cual pertenece el vector.
- **Sentido:** indica hacia dónde apunta el vector.
- **Módulo o valor:** es la medida del vector (puede representarse en escala).

Los vectores permiten representar gran cantidad de situaciones. En el caso de las fuerzas, se construye un diagrama de fuerzas llamado **diagrama de cuerpo libre**.

Se dibujan los ejes de coordenadas y se representan los vectores en el plano. El objeto se representa como un punto (una idealización) que se ubica en el centro de coordenadas.



La longitud de cada vector fuerza se expresa en una escala conveniente. Por ejemplo, una fuerza de 100 kgf podría representarse mediante un vector de 10 cm o también de 1 cm.

Para representar las fuerzas sobre un carro tirado por un caballo, primero tomaremos al carro como un cuerpo puntual y dibujaremos un vector que comienza en el origen de coordenadas y apunta en el sentido de acción de la fuerza. La medida del vector se representa en escala.

Supongamos ahora que dos caballos tiran del carro con la misma intensidad de fuerza y en el mismo sentido. En el diagrama de cuerpo libre, ambos vectores se representarán con la misma longitud y apuntarán hacia el mismo lado. La **fuerza total** o **fuerza resultante**, tendrá un valor igual a la suma de los valores de las fuerzas originales.

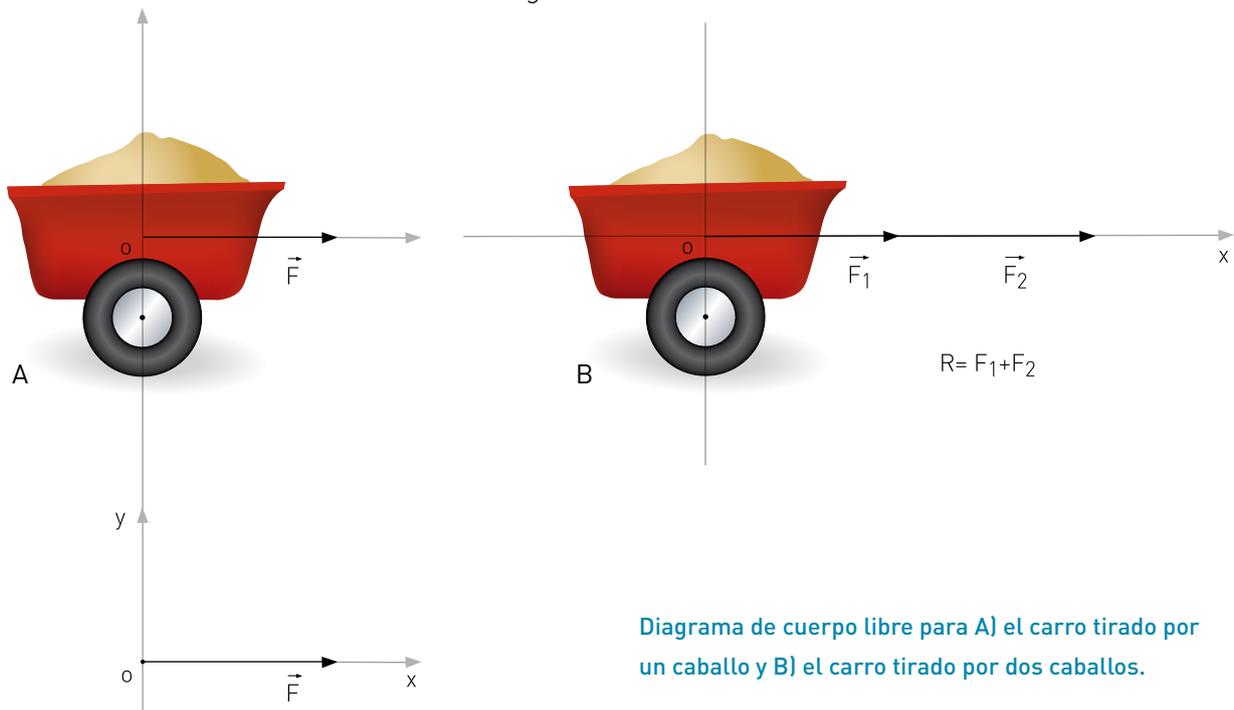


Diagrama de cuerpo libre para A) el carro tirado por un caballo y B) el carro tirado por dos caballos.

Supongamos que ahora dos muchachos tiran de una caja con la misma intensidad de fuerza cada uno, pero en sentidos contrarios. En el diagrama de cuerpo libre, un vector fuerza apuntará hacia la derecha y el otro hacia la izquierda. En este caso, ambos tendrán la misma medida. El valor de la fuerza resultante será igual al valor de la resta de las fuerzas originales. En general, el vector resultante apuntará en el sentido de la fuerza de mayor módulo. La suma o resta de los valores numéricos de fuerzas sólo se puede efectuar cuando las fuerzas actúan paralelamente, nunca si están en diferentes direcciones. En este último caso, para calcular la resultante existen procedimientos un poco más complicados.

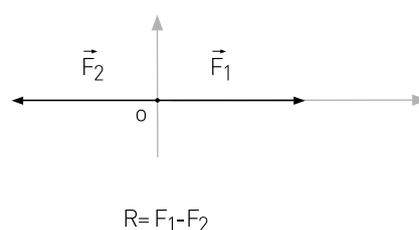
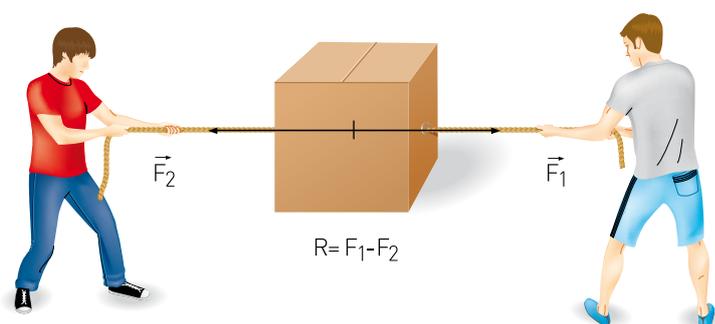


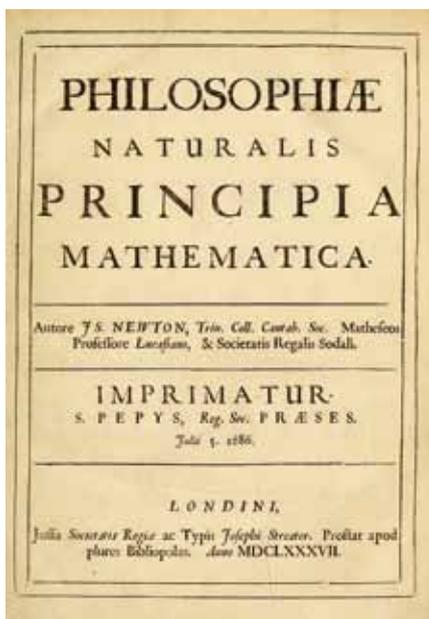
Diagrama de cuerpo libre para la caja de la que tiran dos muchachos.



## ACTIVIDADES

26. Represente en un diagrama vectorial (diagrama de fuerzas) un objeto que pese 500 N. Dibújelo y justifique su respuesta.
27. ¿Cuánto mide el vector que dibujó? ¿Por qué?
28. ¿Podría representarse dicha fuerza con un vector de 2,5 cm de longitud? Justifique su respuesta.
29. ¿Cómo podría representarse vectorialmente la situación si se apoya el objeto sobre una mesa horizontal? Representelo si es posible.
30. ¿Para qué puede ser útil representar las fuerzas?
31. Resuelva la siguiente situación:  
 En un juego de cinchada participan tres niños por equipo. Cada niño del equipo 1 ejerce una fuerza de 100 N. En el equipo 2, un niño ejerce una fuerza de 85 N; otro, una de 102 N, y el tercero, una de 103 N.
  - a. ¿Quién ganará el juego?
  - b. Represente la situación en un diagrama vectorial.

## PRINCIPIO DE ACCIÓN Y REACCIÓN

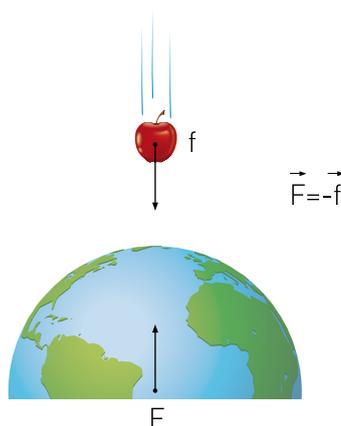


Newton presentó sus tres leyes del movimiento en *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687). A lo largo del texto ya hemos trabajado las dos primeras y en este apartado nos ocuparemos de la tercera.

Portada del libro  
*Philosophiæ Naturalis  
Principia Mathematica.*

Newton entendió que las fuerzas son interacciones entre cuerpos, por lo tanto **siempre existen de a pares**, aunque en objetos diferentes. La atracción gravitatoria resulta ser una interacción entre dos masas, sean planetas, bolitas o un planeta y una bolita. Por ser una interacción, cada masa experimenta una fuerza. El Sol atrae a la Tierra y a la vez la Tierra atrae al Sol. La Tierra atrae a la Luna y a la vez la Luna atrae a la Tierra. **La Tierra atrae a la manzana y la manzana atrae a la Tierra.**

Surge entonces una pregunta casi obligada: ¿es mayor la fuerza que la Tierra ejerce sobre la manzana o al revés?



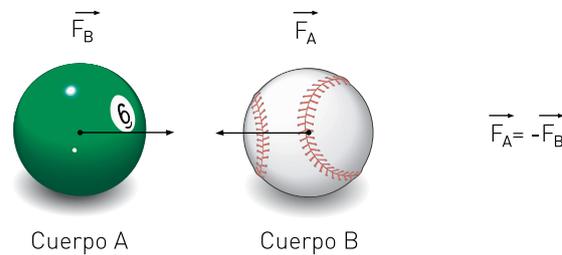
La respuesta es un poco anti-intuitiva, como muchas otras leyes de la Física: ambas fuerzas son de igual valor.

La **Tercera ley**, conocida como **Principio de Acción y Reacción**, es válida para cualquier sistema en el cual existan interacciones y se generaliza de la siguiente forma:

Cuando un cuerpo A ejerce una fuerza sobre otro cuerpo B, entonces este último (B) también ejerce una fuerza sobre el primero (A). La fuerza ejercida por A sobre B se llama **acción**. La fuerza ejercida por B sobre A se llama **reacción**. Ambas son de igual intensidad y de sentidos contrarios.

Si el cuerpo A ejerce una acción sobre B, entonces esta fuerza debemos representarla sobre el cuerpo B, porque actúa sobre el cuerpo B.

La reacción, en cambio, la ejerce el cuerpo B sobre el A. Por lo tanto, debemos representarla sobre el cuerpo A. Ambas fuerzas son del mismo valor pero con sentidos opuestos.



¿Cómo se puede explicar que la Tierra atrae a la manzana con la misma intensidad que la manzana atrae a la Tierra? Pues a partir de la Segunda ley de Newton.

La Tierra posee una masa muy grande en comparación con la de la manzana. Por lo tanto, se acelera muy poco (este valor es insignificante).

Por otro lado, la manzana tiene una masa muy pequeña y, por lo tanto, se acelera notoriamente.

Simbólicamente:

Para la Tierra:

$$F = M \cdot A$$

Para la manzana:

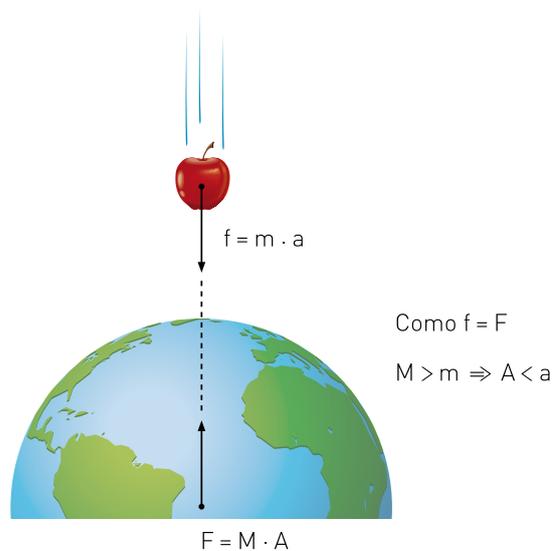
$$f = m \cdot a$$

Como ambas fuerzas son de igual valor, ya que es una interacción:

$$F = f \longrightarrow M \cdot A = m \cdot a$$

Para cumplir con la igualdad, si **M** es mucho mayor que **m**, entonces **A** debe ser necesariamente mucho menor que **a**.

Por ello, la manzana se desplaza una gran distancia hacia la Tierra, mientras que el desplazamiento de la Tierra a causa de la manzana es insignificante.



Esta ley se manifiesta constantemente a nuestro alrededor. Si analizamos la naturaleza con detenimiento lo descubriremos fácilmente.

Al nadar, ejercemos una acción sobre el agua al empujarla hacia atrás. Simultáneamente, el agua nos “devuelve” la fuerza. Recibimos la reacción y nos impulsa hacia adelante. Lo mismo sucede al remar, o cuando una pelota golpea contra una pared, así como en infinitud de otros casos.



## ACTIVIDADES

32. Nombre ejemplos donde se manifieste el principio de acción y reacción.
33. ¿Hacia dónde ejercemos fuerza al iniciar un paso en nuestra marcha?
34. Describa el par de fuerzas actuantes en los siguientes casos:
  - a. Un cohete o nave espacial lanzada al espacio.
  - b. Un rifle cuando dispara un tiro.
  - c. Una lancha con motor a hélice que navega en un río.
35. ¿Cuál es la importancia de los aportes de las leyes de Newton a la Física?
36. Si bien a lo largo de la Unidad hemos usado indistintamente los conceptos de ley y principio, su significado no es estrictamente el mismo para la Física. Investigue cuál es la diferencia entre ellos para esta disciplina.

## UNA FUERZA MUY ESPECIAL: EL PESO

Originariamente se definió al **peso** como la fuerza que atrae a los cuerpos (cercaos a la superficie) hacia el centro de la Tierra.

Con Newton, se estableció que el peso es una manifestación de la fuerza de atracción gravitatoria entre la Tierra y el objeto. Además, su teoría permitió calcular el peso en la Luna o en cualquier otro astro.

El peso es una fuerza. Como tal responde a la segunda ley de Newton:

$$F = m \cdot a$$

Como la fuerza es el peso y la aceleración es la de la gravedad, la ecuación se transforma en:

$$P = m \cdot g$$

La intensidad del peso de un cuerpo resulta directamente proporcional a su masa. Esto significa que un cuerpo de mayor masa tendrá mayor peso y viceversa (considerando  $g$  constante).



### Masa y peso

Como se adelantara en el capítulo 1, **la masa de un cuerpo es una magnitud escalar que indica la cantidad de materia que posee dicho cuerpo**. Aquí veremos que la masa también puede definirse mediante el concepto de movimiento.

Si nos dieran a elegir entre empujar una bicicleta o un camión, seguramente preferiríamos la bicicleta: es más fácil empujar una bicicleta porque la resistencia que ofrece a ponerse en movimiento es menor. Esta propiedad de la materia se denomina **inercia**: el cuerpo con mayor masa tiene más inercia. En otras palabras, el camión tiene más inercia que la bicicleta. Cuanto mayor sea la inercia, más difícil será cambiar el estado de movimiento del cuerpo.

**La masa de un cuerpo es una medida de su inercia**: a mayor masa, mayor inercia.

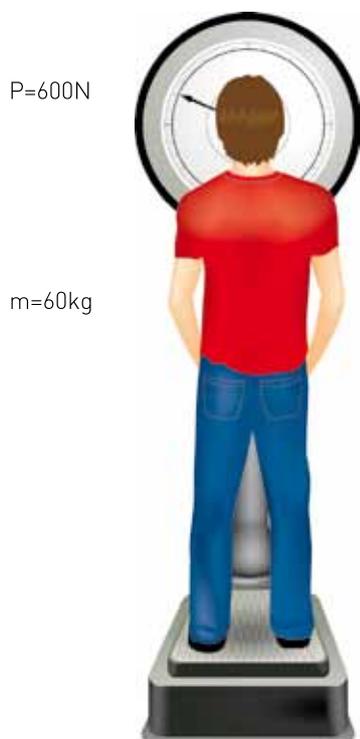
Es muy común que se confunda la masa con el peso. Estos conceptos, muchas veces, son tomados como similares o sinónimos. Esto se debe, probablemente, a que una persona que tiene una masa de 60 kg tiene además un peso de 60 kg. La confusión se origina cuando nos pesamos en la farmacia y decimos que pesamos 60 kg en lugar de decir 60 kgf, o cuando compramos medio kilogramo de pan cuyo peso es de medio kilogramo fuerza.

Hasta aquí, pareciera que es sólo una cuestión de palabras. Sin embargo, el kgf no es una unidad del Sistema Internacional. En este sistema, la unidad es el Newton (N), y nuestro peso de 60 kgf pasa a valer aproximadamente 600 N. Ahora, claramente peso y masa tienen diferente valor numérico.

Así, se observa más claramente que son conceptos distintos. Cada cuerpo tiene una masa determinada y su valor es fijo; su peso, en cambio, no siempre es el mismo.

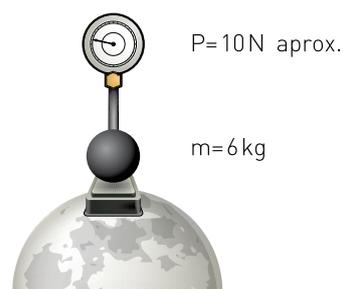
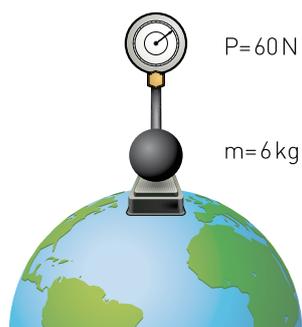
El peso depende del valor de  $g$  de cada planeta. Por esta razón decimos que el peso es la fuerza con la que un astro (como la Tierra o la Luna) atrae a los objetos próximos a él.

En la Luna, la aceleración de la gravedad es aproximadamente seis veces menor que en nuestro planeta. Por lo tanto, un objeto cualquiera pesa unas seis veces menos en este satélite que si estuviera en la Tierra.



Diferencia entre masa y peso.

Peso y masa de un mismo cuerpo en la Tierra y en la Luna.



El **peso** de un cuerpo es una magnitud vectorial. Indica una medida de la fuerza gravitatoria que actúa sobre dicho cuerpo y, por lo tanto, depende de la aceleración de la gravedad del lugar donde se encuentre. La **masa**, en cambio, es una medida de la cantidad de materia que posee el cuerpo y, por lo tanto, no varía al cambiar de lugar.

**En síntesis**, podemos decir que el valor de la masa de un cuerpo es el mismo en cualquier lugar que se encuentre, mientras que el valor del peso depende de dónde se encuentre el cuerpo y no es necesariamente el mismo en distintos lugares.

Veamos un ejemplo de aplicación de estos conceptos:

Supongamos que una persona de 60 kg de masa pudiera viajar al Sol cuya gravedad es aproximadamente 28 veces mayor que la gravedad terrestre. ¿Cuál sería su peso en el Sol?

Como  $P = m \cdot g$

resulta  $P = 60 \text{ kg} \cdot 274,40 \text{ m/s}^2 = 16.464 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 16.464 \text{ N}$

Como  $1 \text{ kgf} = 9,8 \text{ N}$ , por lo tanto el peso de esta persona expresado en kg sería aproximadamente de 1.677,5 kgf



## ACTIVIDADES

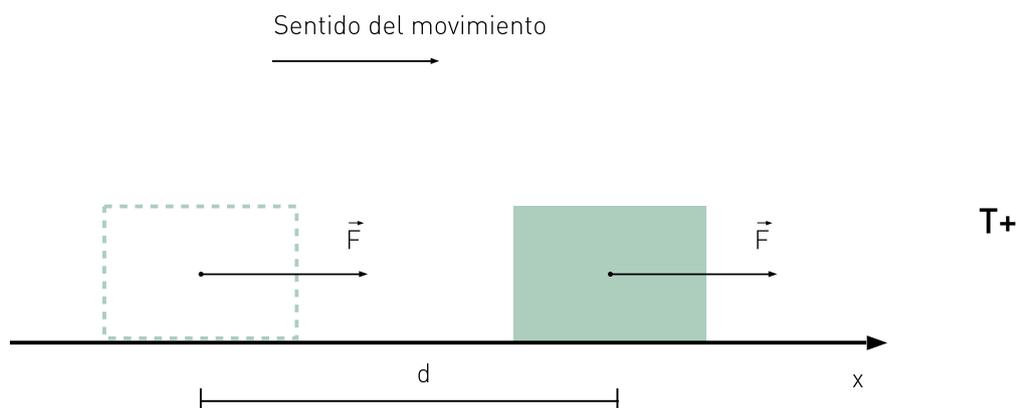
37. Resuelva las siguientes situaciones:
- La masa de Miguel es de 50 kg ¿Cuál es el peso de Miguel en los polos ( $g = 9,83 \text{ m/s}^2$ )? ¿Será igual, mayor o menor si Miguel viaja al Ecuador?
  - Una señora en el supermercado empuja un carrito que pesa 250 N (con mercadería). Si le aplica una fuerza de 50 N ¿cuál será la aceleración del carrito?
  - Cuando un cuerpo cae libremente ¿qué fuerzas actúan sobre él? Realice un diagrama de cuerpo libre.
  - Un jugador de voley lanza la pelota verticalmente hacia arriba para hacer el saque. ¿Qué fuerzas actúan sobre la pelota mientras ésta asciende? ¿Y en el punto más alto? Represente esta situación en un diagrama vectorial.
38. Analice las siguientes situaciones:
- Un objeto lanzado verticalmente hacia arriba en la Luna ¿llegará más alto que en la Tierra o no? ¿Por qué?
  - Si suelta un objeto en la Luna, ¿tardará el mismo tiempo en caer que en la Tierra? ¿Por qué?
  - Identifique los conceptos que utilizó en el análisis.
39. Algunas personas se ven obligadas a bajar de peso por consejo de los médicos. ¿Solucionarían el problema viviendo en la Luna? ¿Por qué?
40. Analice la veracidad de la siguiente afirmación: “Un cuerpo de gran cantidad de masa tiene un gran volumen”.
41. Calcule cuál es su masa y su peso aquí en la Tierra. ¿Cuánto valdría su masa y cuánto pesaría usted en la Luna ( $g = 1,62 \text{ m/s}^2$ )?

## TRABAJO MECÁNICO

Tal vez alguna vez tuvo que empujar un automóvil para que arranque. Estará de acuerdo con que no es lo mismo empujar un auto a lo largo de una distancia de 1 m que a lo largo de 10 m, aunque haya ejercido la misma intensidad de fuerza en ambos casos. ¿Cómo diferenciar ambas situaciones si la fuerza ejercida fue la misma? Ante este problema, los físicos desarrollaron un nuevo concepto: el de trabajo mecánico.

Para simplificar consideraremos solamente los casos de movimientos rectilíneos y en la dirección de las fuerzas aplicadas (en cualquiera de los dos sentidos). Bajo estas condiciones, definiremos **trabajo mecánico** como el **producto de la fuerza aplicada por la distancia recorrida**. Matemáticamente lo expresamos como:

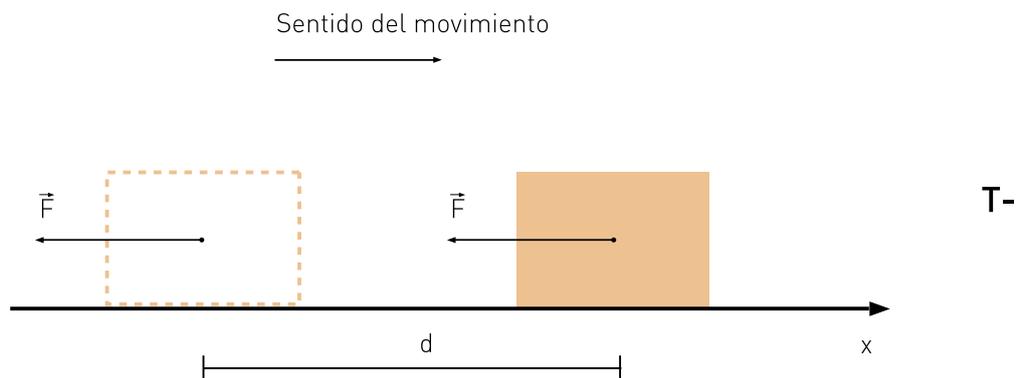
$$T = F \cdot d$$



El trabajo efectuado en el sentido del movimiento es positivo.

Puede suceder que un cuerpo se esté moviendo en una recta y se le aplique una fuerza en sentido contrario que vaya frenando al cuerpo que mientras va disminuyendo la velocidad sigue desplazándose en el sentido inicial. Esto significa que la Fuerza y el desplazamiento tienen sentido contrario, En este caso el trabajo se obtiene mediante la fórmula anterior pero el resultado será de signo negativo.

$$T = F \cdot d$$



El trabajo efectuado contra el sentido del movimiento es negativo.

En el Sistema Internacional, la unidad de trabajo mecánico se llama julio (versión en español de Joule, en honor a ese investigador) (J) y deriva de las unidades de **Fuerza (N)** y de **distancia (m)**. Se realiza un trabajo de 1 J cuando se ejerce una fuerza de 1 N a lo largo de 1 m de longitud.

Simbólicamente:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Consideraremos que el trabajo mecánico es positivo cuando la fuerza actúe en el mismo sentido del movimiento. Será negativo cuando la fuerza actúe en contra del movimiento, es decir, en sentido opuesto a este.



## ACTIVIDADES

42. Resuelva los siguientes problemas y contrólelos en la tutoría:
- ¿Qué requiere más trabajo: levantar un peso de 10 N hasta una altura de 3 m, o levantar un peso de 3 N a una altura de 10 m?
  - Se ejerce constantemente una fuerza sobre un cuerpo de 3 kg acelerándolo a razón de  $5 \text{ m/s}^2$ . ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza a lo largo de 4 m?
  - Calcule el trabajo mecánico que realiza al subir la escalera de su casa, del colegio o de otro lugar al que concurra habitualmente.
43. Analice qué conceptos utilizó para la resolución de los problemas.
44. Describa los procedimientos empleados en cada uno de ellos.



## ACTIVIDADES INTEGRADORAS

- > Para resolver grupalmente en el encuentro de tutoría:
  1. Elabore una lista de los conceptos trabajados a lo largo de esta Unidad.
    - a. Construya un esquema conceptual que muestre las relaciones que se establecen entre estos conceptos.
    - b. Exprese dichas conexiones mediante oraciones. (Aclaración: tenga en cuenta que al unir las ecuaciones a los conceptos de referencia debe hacerlo mediante expresiones como “se simboliza matemáticamente mediante la ecuación” o similar.)
  2. En un pequeño grupo, indaguen y discutan:
    - a. ¿Qué sucedería en otros dos planetas del sistema solar con el peso de una pelota que en la superficie de la Tierra pesa 4 N? ¿Y con la masa de la pelota en cada planeta?
    - b. Si se dejara caer la pelota desde una misma altura respecto de la superficie de cada planeta, ¿tardaría el mismo tiempo en caer en cada uno? ¿Por qué?
    - c. ¿Llegaría al suelo con la misma rapidez? ¿Por qué?

## UNIDAD 3

# Una nueva interpretación de la naturaleza de la energía

Mi posición está perfectamente definida. Gravedad, movimiento, calor, luz, electricidad y acción química son uno y el mismo objeto en varias formas de manifestación.

Julius Robert von Mayer

[Médico y físico alemán, 1814-1878]

# INTRODUCCIÓN

A partir de la formalización derivada de la mecánica newtoniana, los científicos lograron explicar gran cantidad de fenómenos naturales mediante fuerzas y movimientos.

A principios del siglo XIX, en paralelo con la Revolución Industrial, se generó una nueva manera de interpretar los fenómenos naturales a partir del concepto de **energía**.

Actualmente, este concepto es fundamental en las Ciencias naturales. Con él podemos explicar todos los fenómenos y procesos naturales conocidos. Sin embargo, como veremos, es muy difícil de definir.

La palabra energía la asociamos, en general, con vitalidad, fuerza, temperamento, poder, etc. Los diferentes significados que adopta el término energía dependen en gran medida del ámbito en que se los utilice. En el ámbito científico, el concepto de energía tiene un significado específico, que a continuación comenzaremos a analizar.

Como primera aproximación al lenguaje de las ciencias naturales, podemos señalar que la energía es aquello que hace funcionar vehículos y maquinarias. Es energía también lo que permite calentar o enfriar los diferentes objetos y lo que ilumina nuestros hogares. La actividad física de los seres vivos también requiere energía. Podemos notar que la energía se manifiesta de diversas maneras.

Varias son las fuentes de energía para el ser humano, pero el Sol es indudablemente la más importante. Gracias a la luz y al calor que recibimos de este astro, las plantas y los animales pueden crecer y la vida puede desarrollarse en plenitud. La lluvia y el viento se producen también gracias a la energía proveniente del Sol.

En los tiempos de Galileo, e incluso mucho antes, el concepto de energía se asociaba con la idea de cambio. Precisamente una de las propiedades de la energía es la de transformarse y producir cambios en la naturaleza.

Algunos cambios son visibles y otros no. Detrás de todo cambio en la naturaleza está presente la energía.

Las preguntas que siguen le servirán de guía para orientarse en el desarrollo de esta unidad:

- ¿Por qué decimos que el ser humano debe aprender a usar mejor la energía que produce?
- ¿Cuáles son las causas de la búsqueda de nuevas y mejores técnicas de obtención de energía?
- ¿Qué características deberán tener las fuentes alternativas de energía?
- ¿Cuál es la situación energética actual de la Argentina y cuáles son sus perspectivas para el futuro?

# SISTEMAS Y ENERGÍA



## ACTIVIDAD

1. Haga un listado de palabras que pueden asociarse con la energía.
2. Relacione la energía con algún recuerdo o situación de la vida cotidiana.
3. Identifique los diferentes tipos de energía que conoce.
4. Reconozca y registre la utilización de la energía en situaciones de la vida cotidiana.

*Cambia lo superficial  
cambia también lo profundo  
cambia el modo de pensar  
cambia todo en este mundo*

De cambio se habla en esta canción de Julio Numhauser, que se hizo famosa en la voz de Mercedes Sosa.

En la atmósfera hay continuos cambios, también hay cambios en el mar, en la altura del vuelo de las aves, en el interior de tu cuerpo, etc. En todos estos sistemas hay transformaciones de energía.

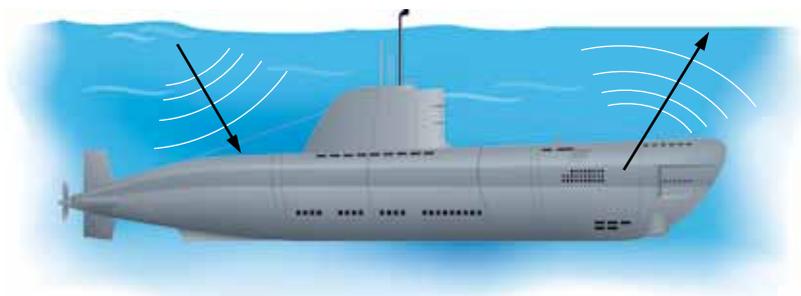
**Un sistema es una porción del universo cuyos límites y elementos constituyentes se eligen arbitrariamente para su estudio. Los elementos que componen todo sistema están relacionados entre sí.**

Los sistemas pueden clasificarse de acuerdo con las interacciones que establecen con el medio exterior.

**Abierto:** es aquel en el que se intercambia materia y energía con otro sistema externo (el medio exterior). Es el caso del cuerpo humano.



**Cerrado:** es aquel en el que se intercambia energía, pero no materia con el medio exterior. Por ejemplo, un submarino.



**Aislado:** es el sistema que no intercambia materia ni energía con el medio exterior. Por ejemplo, el termo cerrado para el mate.



En realidad, ningún sistema es perfectamente cerrado o perfectamente aislado.

Siempre hay pequeñas filtraciones de energía y/o materia. Pero en tiempos relativamente cortos, pueden considerarse como ideales.

En este marco, diremos que **la energía es aquello que necesitamos entregar a un sistema para producir en él algún tipo de transformación**. Si el sistema está formado por un objeto podemos, por ejemplo, ponerlo en movimiento, levantarlo, estirarlo o comprimirlo, aumentar su temperatura, etc.

Por el momento, no hemos dado una definición específica de energía, aunque hemos avanzado en su caracterización a partir de los efectos que produce. A lo largo de la Unidad iremos profundizando en el significado de este concepto que, como veremos, es muy difícil de definir.



## ACTIVIDADES

5. Conteste las siguientes preguntas:
  - a. ¿Por qué llamamos “sistema” al sistema solar? ¿Qué elementos lo componen? ¿Qué relaciones se establecen entre dichos elementos?
  - b. ¿Por qué decimos que el cuerpo humano es un sistema abierto? ¿Qué intercambios se producen entre este y el medio exterior?
  - c. Dé ejemplos de sistemas abiertos, cerrados y aislados.

## TRABAJO MECÁNICO Y ENERGÍA CINÉTICA

Hacia finales del siglo XVIII (período de la Revolución Industrial), científicos e ingenieros se referían al concepto de trabajo mecánico como “el producto de la fuerza por la distancia”.

Como ya comenzamos a ver en la Unidad 2, el trabajo mecánico se definió como el **producto de la fuerza aplicada por la distancia recorrida para una fuerza en la dirección del desplazamiento**. Al arar la tierra, se estaba realizando trabajo mecánico. También al empujar constantemente una pesada caja para subirla a un barco.

En esa época, los científicos comenzaron a darse cuenta de que realizar un trabajo era sinónimo de entregar o adquirir energía. Según esta novedosa manera de interpretar los fenómenos, el campesino cedía energía al arar la tierra y el arado la adquiría en forma de movimiento: el trabajo mecánico era sinónimo de cambiar la energía de movimiento.

Es decir:

**Trabajo mecánico = cambio de energía de movimiento.**

Con el correr del tiempo, los conceptos referidos a la energía se fueron reinterpretando y comprendiendo más profundamente. Lord Kelvin, hace poco más de 100 años, llamó energía cinética a la energía de movimiento. Este es el término que seguimos utilizando actualmente.

Tras años de estudio, Gaspard-Gustave Coriolis (1792-1843) logró matematizar el concepto de **energía cinética ( $E_c$ )** o de movimiento de la siguiente manera:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Dado que el trabajo mecánico es igual al cambio de energía de movimiento, entonces formalmente resulta que:

**Trabajo mecánico = cambio de energía cinética**

Es decir, que el trabajo mecánico es igual a la energía cinética final menos la energía cinética inicial del móvil:

$$T = \Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_o}$$

Actualmente decimos que:

**El trabajo mecánico es un proceso que permite cambiar la energía cinética de un sistema.**

Las unidades de energía son las mismas que las de trabajo mecánico. Por lo tanto, en el Sistema Internacional, la unidad de energía es el newton por metro o julio, que se simboliza J.

Veamos un ejemplo donde se apliquen estos conceptos:

Imagine que caminando por la calle se encuentra con una persona cuyo auto tiene “poca” batería y necesita un empujón. Si aplicamos sobre el auto una fuerza de 400 N a lo largo de 10 m:

- ¿Qué energía cinética le entregamos al móvil si se desprecian las fuerzas de rozamiento?
- ¿Qué rapidez alcanzó si la masa del auto es de 2 t (tonelada)?

### Resolución

- Sabiendo que la variación de energía cinética del auto es igual al trabajo realizado sobre él, tenemos que:

$$T = E_{c_f} - E_{c_0}$$

Como  $T = F \cdot d$  (ver Unidad 2),

entonces:  $F \cdot d = E_{c_f} - E_{c_0}$

$$400 \text{ N} \cdot 10 \text{ m} = E_{c_f} - 0 \text{ J} \quad (\text{La energía cinética inicial es nula porque está detenido})$$

Por lo tanto:  $E_{c_f} = 4.000 \text{ J}$

- Podemos calcular la rapidez final a partir de la energía cinética final:

$$E_{c_f} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$4.000 \text{ J} = \frac{2.000 \text{ kg} \cdot v^2}{2}$$

Entonces, despejando la rapidez  $V$  de esa expresión:

$$v^2 = \frac{2 \cdot 4.000 \text{ J}}{2.000 \text{ kg}} = \frac{4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2}{\text{kg}} = 4 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Al aplicar la raíz cuadrada queda:

$$v = 2 \text{ m/s}$$



## ACTIVIDADES

6. Resuelva los siguientes problemas. En todos los casos haga un listado de las fórmulas aplicadas e identifique los conceptos utilizados.
  - a. Calcule la energía cinética de una bala de 200 g cuya rapidez es de 300 m/s.
  - b. Una pelota de fútbol tiene una masa de 420 g. Llega al arquero con una rapidez de 20 m/s y mueve 25 cm hacia atrás las manos del hombre hasta detenerse completamente. ¿Cuál fue la fuerza que la pelota ejerció sobre los guantes del arquero?

## Definición del concepto de energía

Si un sistema dispone de energía, tiene la capacidad (la posibilidad) de producir cambios. Específicamente, la energía puede producir un trabajo mecánico que se manifiesta al empujar un carrito, comprimir un resorte, accionar una palanca o un botón de una maquinaria, masticar los alimentos, etc.

Por ello es habitual encontrar la siguiente definición, dada por James Maxwell:

**La energía es la capacidad de un sistema de realizar trabajo mecánico.**

Esta es una definición muy práctica y útil. Sin embargo, como veremos más adelante, tampoco es del todo correcta. En Física no hay verdades definitivas. Incluso el significado de los conceptos se construye continuamente.

James Clerk Maxwell



## TRABAJO MECÁNICO Y ENERGÍA POTENCIAL

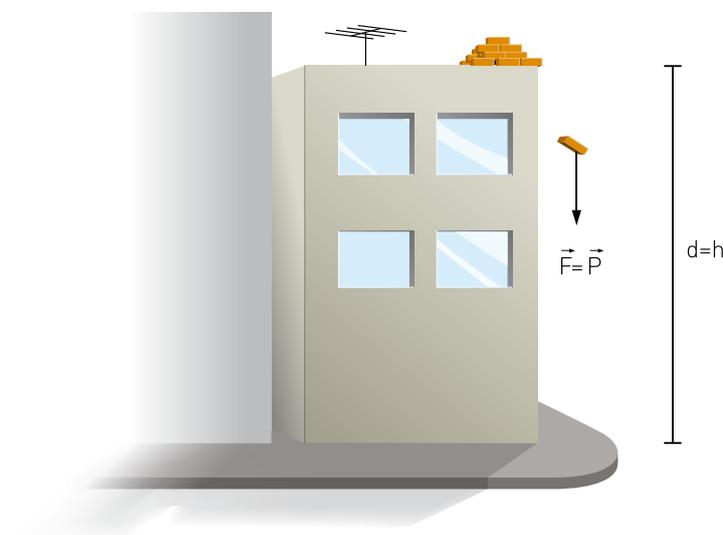
Con la energía podemos realizar trabajo inmediatamente o “almacenarla” para ser utilizada en otro momento. En las células, las moléculas de la sustancia trifosfato de adenosina, ATP, “guardan” la energía para cuando los músculos necesitan realizar un trabajo (levantar pesas, flexionar las rodillas al correr, etc.). Un arco tendido también almacena energía que se manifestará al soltar la cuerda, y que empujará la flecha durante una cierta distancia. Algo similar ocurre al tirar de una cuerda de la guitarra. Se almacena energía que se manifestará vibrando al soltar dicha cuerda.

William Rankine (1820-1872) llamó **energía potencial** a la energía almacenada en un sistema. Esta energía tiene la posibilidad (la potencialidad) de manifestarse en algún momento futuro y de realizar un trabajo.

La energía potencial puede almacenarse de distintas maneras: energía potencial elástica en un resorte, energía potencial química en las uniones químicas, energía potencial eléctrica en las pilas, energía potencial nuclear en los núcleos de los átomos, etc. Por simplicidad, es común encontrar que a estas formas de energía potencial se las mencione sin indicar la palabra potencial. Por ejemplo, a la energía potencial nuclear se la denomina simplemente energía nuclear.

La energía potencial gravitatoria es la que almacenan los objetos por encontrarse a una altura determinada. Un ladrillo en alto tiene energía potencial gravitatoria porque tiene la capacidad de realizar trabajo. Si se lo suelta, caerá bajo la acción de la fuerza gravitatoria. Desarrollará un trabajo que se manifestará claramente, por ejemplo, aplastando una flor que se encuentre justo debajo de él.

Un ladrillo que cae hasta el suelo desde una altura **h**, desarrollará un trabajo mecánico de valor igual al producto de la fuerza peso **P** (del ladrillo) por la distancia que recorre (la altura **h**).



Tenemos entonces que:

$$T = F \cdot d = P \cdot h$$

Y dado que el peso se puede expresar como:  $P = m \cdot g$ , entonces:

$$T = m \cdot g \cdot h$$

es el trabajo mecánico que realizó la fuerza peso durante la caída libre.

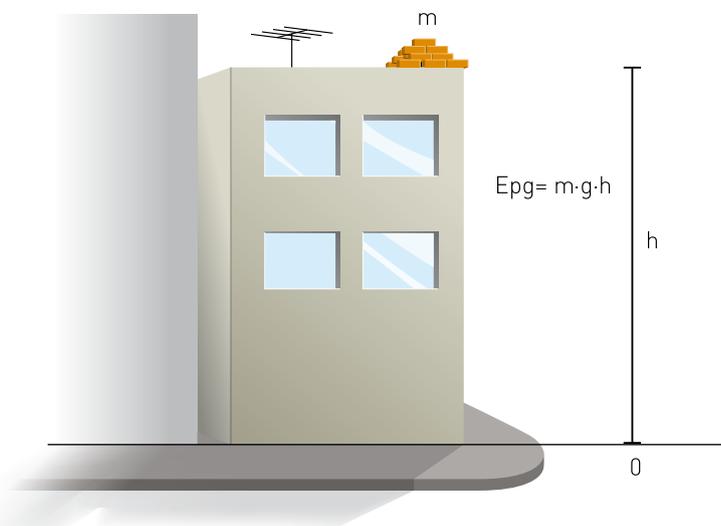
Para poder realizar ese trabajo, el ladrillo disponía necesariamente de ese valor de energía en forma potencial gravitatoria.

Por lo tanto, para cualquier objeto de masa  $m$ , el valor de la **energía potencial gravitatoria** puede expresarse matemáticamente como:

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h$$

Donde  $h$  está medida con respecto al cero de referencia (altura cero).

Debemos notar que la energía potencial gravitatoria es relativa. Depende de una posición (altura) de referencia elegida arbitrariamente. Se pueden medir alturas con respecto a la superficie de nuestro planeta. Pero también se pueden medir con respecto al suelo de un quinto piso de un edificio.



## ACTIVIDADES

7. ¿En qué caso sería mayor el aumento de energía potencial gravitatoria de Romeo al subir al balcón de Julieta? Justifique sus respuestas.
  - a. Por una escalera.
  - b. Por una soga.
  - c. En un globo aerostático (todavía no existía).

# FORMAS DE ENERGÍA

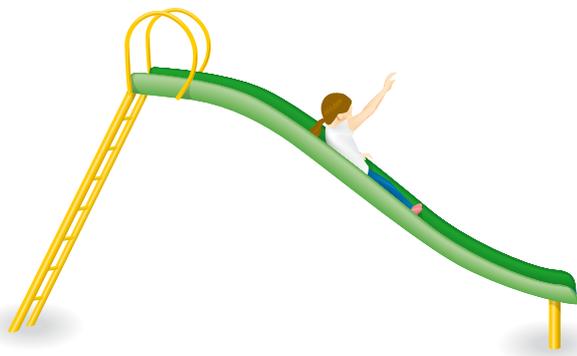


## ACTIVIDADES

8. Probablemente alguna vez haya tenido que empujar un automóvil para que arrancara, levantar un libro para ubicarlo en el estante más alto de una biblioteca o calentar agua para hacer la comida.
  - a. Determine de dónde salió la energía entregada a los sistemas mencionados.
  - b. Explícite qué cambios produjo la energía entregada en cada uno de los casos.
  - c. Identifique en qué forma se manifestó la energía en cada caso.

La energía se puede manifestar de diferentes formas. A continuación, le contaremos brevemente cómo reconocer algunas de ellas. No debe tomar las siguientes caracterizaciones como definiciones muy precisas, aunque son útiles para analizar las transformaciones que ocurren en la naturaleza:

**Energía cinética:** es la energía asociada al movimiento. Todo objeto o sistema físico en movimiento posee una cierta cantidad de energía cinética. Es una cantidad relativa porque el valor de la velocidad es relativo.

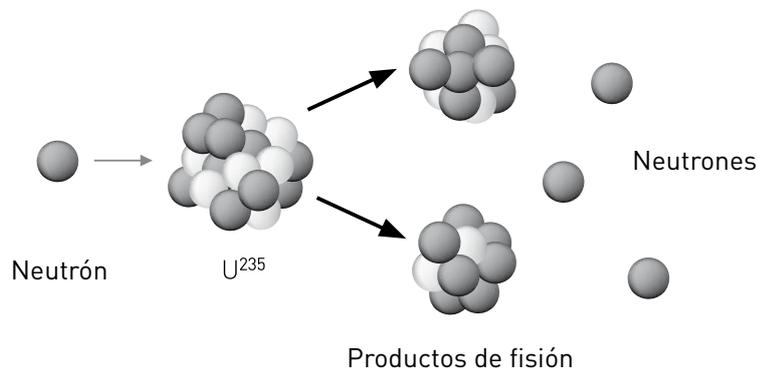


**Energía potencial gravitatoria:** es la energía que almacenan los objetos por encontrarse a una determinada altura con respecto a un cero tomado arbitrariamente. Toda energía potencial también es relativa porque la posición es relativa.



**Energía potencial elástica:** es la que se almacena cuando comprimimos, doblamos o estiramos un resorte, una banda elástica o cualquier otro material. Estrictamente, todos los materiales son en alguna medida elásticos, aún cuando para nosotros esto sea imperceptible.

**Energía potencial nuclear de fisión:** es la energía que se encuentra almacenada en los núcleos de los átomos. Cuando un núcleo se fisiona (rompe) o se desintegra, libera gran cantidad de energía. Es lo que sucede en las centrales nucleares. También es muy utilizada en medicina.



**Fisión del uranio por impacto de un neutrón.**



**Energía química:** es la energía que encontramos almacenada en las uniones químicas de las sustancias. Se libera al romper dichas uniones. Obtenemos energía química al degradar los alimentos para nutrirnos, de los combustibles para hacer funcionar motores, de las pilas para encender lamparitas, etc.

**Las pilas y las baterías son dispositivos que convierten energía química en energía eléctrica.**



**Energía eléctrica:** es la energía que puede obtenerse de la corriente eléctrica como la generada en centrales hidroeléctricas, dínamos de bicicletas, etc.

Los cables de alta tensión transportan energía eléctrica de la central eléctrica a las ciudades.

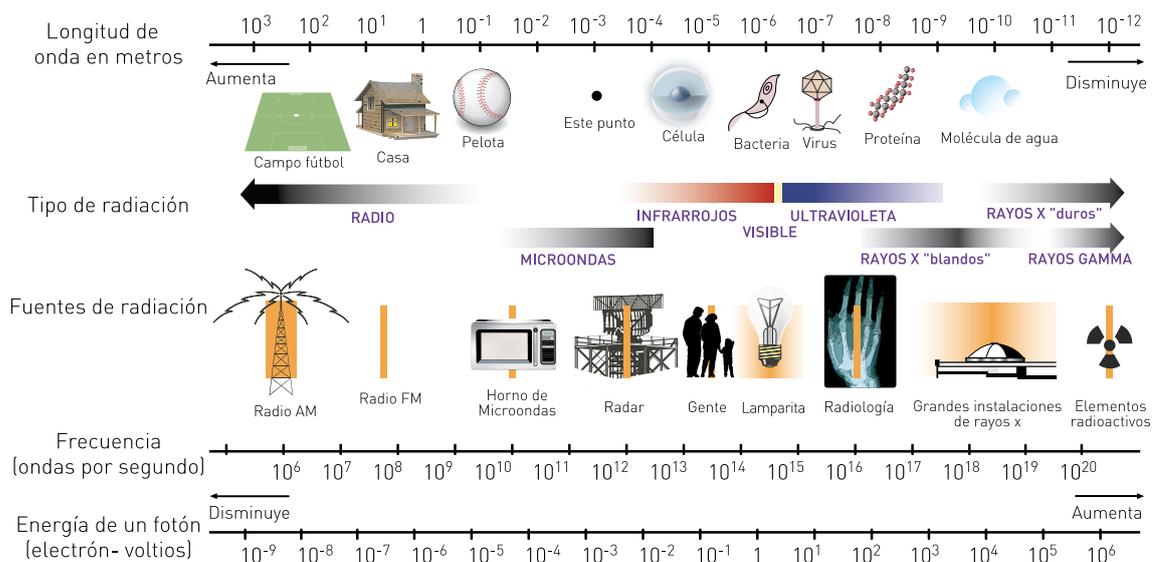
**Energía potencial electrostática:** es la energía que podemos obtener cuando frotamos dos materiales que pueden cargarse eléctricamente.

Al peinarnos, el peine se carga eléctricamente.



**Energía radiante:** es la energía que transportan las ondas electromagnéticas como la luz, las infrarrojas, las ultravioletas, las de radio y los rayos X, entre otras.

Cada tipo de onda transporta distinta cantidad de energía. Entre todas conforman el denominado **espectro electromagnético**. Los objetos concretos no poseen energía radiante. La absorben o la liberan y se transporta por ondas.



Espectro electromagnético.

**Energía luminosa:** es un tipo particular de energía radiante. Es la energía transportada por las ondas luminosas o luz visible. Las lamparitas liberan energía luminosa pero no la poseen. Los objetos concretos no poseen energía luminosa.

Una linterna emite energía luminosa.



**Energía sonora:** es la energía que transportan las ondas sonoras.



La energía que transporta el sonido puede quebrar copas de cristal.



## ACTIVIDADES

9. Analice qué formas de energía se encuentran presentes en las siguientes situaciones: manzana en un árbol, automóvil, vela, contracción del bíceps, ecosistema, salto en garrocha.  
Posiblemente se generen distintas respuestas según cómo se imagine el contexto de cada situación. Especifíquelo en cada caso.
  
10. Realice la siguiente experiencia:  
Frote un peine o una regla de plástico contra su pelo. Luego, acérquelo lo más que pueda a un pedacito pequeño de papel, pero sin tocarlo.
  - a. ¿Qué sucedió?
  - b. ¿Cómo lo explicaría mediante el concepto de energía?
  - c. ¿Qué sucede cuando acerca el vello del brazo a la pantalla del televisor? ¿Por qué?



Diseñó un ingenioso aparato que consistía en pesos conectados a una rueda con paletas. Al caer los pesos por la acción de la gravedad, la rueda giraba. En conjunto, las paletas agitaban el agua, provocando un aumento de su temperatura. Calculando el trabajo realizado por los pesos y la cantidad de calor que adquiriría el agua, estableció el equivalente mecánico del calor:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

Esta relación plantea que podemos expresar el calor en **julios** (unidad de energía, transformación al español de joule, en honor a James Prescott Joule). También podemos expresar la energía en **calorías** (unidad de cantidad de calor). En síntesis, Joule logró establecer que **el calor es una forma de energía**. En los últimos años de la década de 1860, el concepto de calórico ya había dejado de tener adeptos en la comunidad científica.

Actualmente decimos que **el calor es una forma de energía en tránsito** porque hablamos de calor mientras la energía se transfiere de un cuerpo a otro. Los cuerpos no contienen calor, de la misma manera que no contienen sonido: poseen energía interna (cinética y/o potencial) y la pueden transferir en forma de calor.

Se puede realizar una analogía, limitada, entre el calor y el viento:



El viento es el aire en movimiento. Cuando el aire se detiene desaparece el viento. El viento puede inflar un globo pero lo que se almacena en el globo no es viento, es aire.

(Hecht, 1980).

Análogamente, el calor es energía en movimiento. Lo que se almacena es energía interna.

## Energía y alimentación

Es probable que alguna vez haya hecho una dieta por iniciativa propia o por indicación médica o que conozca a alguien que la haya hecho.

Es habitual en el ámbito de la alimentación utilizar como unidad de energía la **Caloría** en mayúsculas o **kilocaloría**. Es la unidad que se presenta en los envases de los alimentos (aunque a veces esté escrita incorrectamente en minúscula).

Entonces:

$$1.000 \text{ cal} = 1 \text{ Cal} = 1 \text{ kcal} = 4.184 \text{ J}$$

1 **caloría** (cal) representa aproximadamente la energía necesaria para elevar 1 grado centígrado la temperatura de 1g de agua.

1 **Caloría** (Cal o caloría alimenticia) representa la energía necesaria para elevar 1 grado centígrado la temperatura de 1 kg de agua (o un litro de agua).

Información nutricional		
Porción 20 g (1 cucharada de sopa)		
	Cantidad por porción	% VD*
Valor energético	60 Kcal/ 253 kJ	3
Carbohidratos	13 g	4
Proteínas	1,5 g	2
Grasas totales	0,0 g	0
Grasas saturadas	0,0 g	0
Grasas trans	0,0 g	0
Grasa Monoinsat.	0,0 g	0
Grasa Poliinsat.	0,1 mg	0
Colesterol	0,0 g	0
Fibra alimentaria	33 mg	1
Sodio	146 mg	15
Calcio	146 mg	15

El ser humano necesita consumir unas 3.000 Cal (con mayúscula) o kilocalorías diarias. Aproximadamente un 80 % de esta energía se transforma en calor liberado por las células del cuerpo. El 20 % restante se utiliza en el metabolismo celular.

El valor de la energía necesaria varía entre otras cuestiones con el tipo de actividad desarrollada, con la época del año, con la edad, etc.

## TRANSFORMACIONES DE LA ENERGÍA

En 1842, un joven médico alemán de 28 años, Julius Robert Mayer, publicó su primer ensayo. En él afirmaba que todas las distintas formas de energía “son convertibles”, es decir que la energía puede transformarse de una forma a otras. Ridiculizado por la comunidad científica, y tras la muerte de dos de sus hijos, intentó suicidarse saltando por la ventana de un segundo piso. Depresivo, estuvo internado en un manicomio hasta 1853. Finalmente, y tras los experimentos de Joule, su trabajo fue reconocido hacia fines de la década de 1860. Mayer aún vivía.

Analicemos un caso particular de transformaciones de la energía: la generación de energía eléctrica.

Los materiales combustibles, como el carbón y la madera, poseen almacenada energía química. Cuando “encendemos” uno de estos materiales se produce una reacción química y la energía comienza a liberarse, básicamente en forma de energías calorífica y lumínica. Se ha transformado la energía. A su vez, la energía calorífica puede ser utilizada para hervir agua. El vapor puede empujar las paletas de una rueda y así obtenemos energía mecánica. Si se conecta un generador eléctrico (dínamo) al eje de la rueda, obtendremos energía eléctrica. Esta forma de energía puede seguir posteriormente transformándose en otras.

Las centrales eléctricas actuales producen corriente eléctrica de manera similar: grandes turbinas giran al ser movidas por el agua, por fuertes vientos o por vapor; unidas al eje de las turbinas, y juntamente con ellas, giran las dínamos que generan corriente eléctrica. La corriente eléctrica es transportada por cables de alta tensión hasta una ciudad como en la que usted vive y, luego, es distribuida entre las casas, las fábricas, las oficinas, etc.

Una vez que llega a su casa puede ser aprovechada de distintos modos.

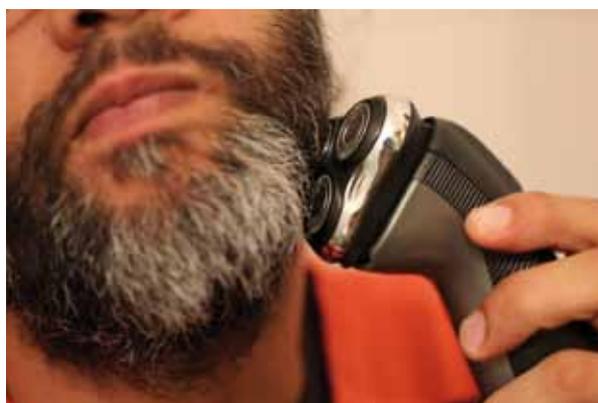


Turbina de una central eléctrica.



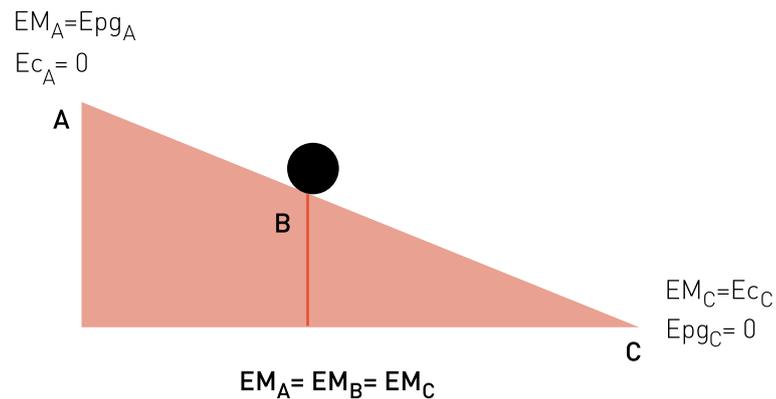
## ACTIVIDADES

11. Observe y describa las siguientes imágenes. Especifique las transformaciones de la energía que se producen en cada caso.



## LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

Si se deja caer una bolita por un plano inclinado se puede observar que disminuye su altura con respecto al suelo. Simultáneamente aumenta su velocidad. En esta simple experiencia hay transformación de energía.



Inicialmente, la bolita posee energía potencial gravitatoria. Esta energía está almacenada. En cuanto la soltamos, la bolita comienza a descender y su velocidad aumenta. La energía potencial gravitatoria se va transformando en energía cinética. Al llegar a la base del plano la bolita ya no dispondrá de energía potencial, mientras que toda la energía será energía cinética o de movimiento.

La energía mecánica en un instante es igual a la suma de las energías cinética y potencial. En el caso anterior, inicialmente la energía mecánica era potencial gravitatoria y se fue transformando en energía cinética.

En el caso ideal, en el que no se disipa calor ni ruido por rozamiento, el 100 % de la energía potencial se transforma en energía cinética. La energía cinética final será igual a la energía potencial gravitatoria al inicio de la transformación.

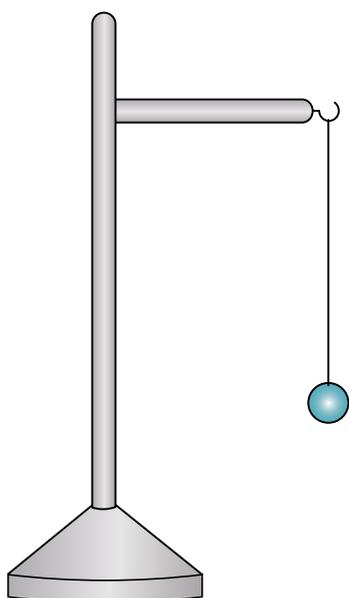
Esto se conoce como el **principio de conservación de la energía mecánica** y puede expresarse como sigue:

**En el caso ideal, la cantidad de energía mecánica total al principio de una transformación es igual a la energía mecánica total al final de dicha transformación. La energía mecánica se conserva.**



## ACTIVIDADES

12. Determine qué afirmaciones son verdaderas y cuáles son falsas, suponiendo que no existe rozamiento. Justifique sus respuestas.
- A medida que cae, la bolita va aumentando su energía potencial gravitatoria.
  - La cantidad de energía total de la bolita en el punto más alto es igual a la cantidad de energía total en el punto más bajo.
  - La cantidad de energía total de la bolita en el punto medio de la trayectoria es igual a su cantidad de energía total en el punto más bajo.
  - A mitad de altura, la energía cinética es mayor que la energía gravitatoria.
  - La cantidad de energía potencial es igual a la cantidad de energía cinética en todo momento porque la energía se conserva.



13. Construya un péndulo: sujete un cuerpo pesado de pequeñas dimensiones de un hilo y sosténgalo de algún soporte que permita su oscilación (ver esquema). Luego, suelte el cuerpo para que oscile desde una altura determinada.
- Identifique qué forma de energía poseía la bolita del péndulo antes de soltarla.
  - Explique qué transformaciones de la energía se producen mientras oscila.
  - Intente explicar energéticamente por qué se frena luego de un tiempo. ¿Desaparece la energía?

## El calor: ¿un problema para la conservación de la energía?

Recientemente hemos analizado la conservación de la energía mecánica en el caso ideal, sin rozamiento. Como sabemos, el caso real es un poco diferente: antes de comenzar su caída, la bolita dispone de energía potencial gravitatoria; al soltarla, cae aumentando su energía cinética y liberando una fracción de su energía en forma de calor, debido al rozamiento con el plano inclinado y con el aire.

Al llegar a la base, la energía gravitatoria se habrá transformado totalmente en energía cinética y en calor liberado al ambiente. Si sumamos la energía cinética y calórica al final de la transformación, notaremos que tenemos la misma cantidad de energía total que al inicio (dentro del rango de error experimental). En otras palabras, el principio de conservación se sigue cumpliendo.

Que la energía total se conserve durante una transformación, ¿no significa que todos los sistemas conserven la energía!

El sistema bolita cedió energía en forma de calor y el sistema atmósfera la adquirió.

Sin embargo, el sistema bolita-atmósfera mantuvo la misma cantidad de energía, porque la misma cantidad que cedió uno fue adquirida por el otro. Podemos entonces sostener que la energía total se conserva. En palabras del joven Mayer, la energía es “cuantitativamente indestructible”.

El principio de conservación de la energía (total), también conocido como **Primer principio de la Termodinámica**, afirma que:

**La cantidad de energía total al principio de una transformación es la misma que al final. Decimos entonces que la energía se conserva. Esto significa que la energía no se crea ni se destruye, sino que sólo se transforma en otras formas diferentes. Una misma forma de energía se puede transformar en muchas otras, pero la cantidad de energía total es siempre la misma.**

Más específicamente:

**La cantidad de energía total de un sistema aislado es constante.**

Este principio se aplica muy fácilmente al ejemplo del termo para el agua del mate (dado al inicio de esta Unidad). Idealmente, al ser un sistema perfectamente aislado, el termo no permite el intercambio de energía calórica con el exterior, manteniendo la temperatura constante porque no absorbe ni libera calor de ninguna manera (aunque sabemos que en la realidad hay filtraciones por donde se libera calor al ambiente).

Como es habitual en Física, nunca podremos demostrar que este principio sea cierto. A lo sumo, podemos refutarlo. El principio de conservación de la energía es una de esas leyes que nunca han podido ser refutadas. Hasta ahora siempre se ha cumplido.

Decimos entonces que la energía se conserva. Esto significa que la energía no se crea ni se destruye, sino que sólo se transforma en otras formas diferentes. Una misma forma de energía se puede transformar en muchas otras, pero la cantidad de energía total es siempre la misma.



## ACTIVIDADES

14. Vuelva a responder la Actividad 13. Comente en unas pocas líneas que diferencias y/o similitudes encuentra entre lo escrito anteriormente y lo que responde ahora. Si hubiera alguna diferencia entre las respuestas, explique a qué se debe.

## POTENCIA

Antes de la Revolución Industrial, sacar agua de un pozo era, en general, una actividad que requería de la fuerza muscular. Con la proliferación y perfeccionamiento de las máquinas a vapor, el mismo peso de agua se logró sacar en un tiempo mucho menor.

En ambos casos, el trabajo realizado por el peso fue el mismo: peso del balde con agua por profundidad del pozo (fuerza por distancia, con signo negativo). En otras palabras, como el trabajo era el mismo, entonces la energía necesaria para elevarlo era la misma en los dos casos. Sin embargo algo cambió: el tiempo requerido para realizar la operación. La máquina tardó menos tiempo. Por ello decimos que desarrolló mayor **potencia** que el ser humano. La potencia tiene en cuenta tanto el trabajo (o la energía) como el tiempo requerido para realizarlo.

Simbólicamente:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo total realizado}}{\text{Tiempo transcurrido}} = \frac{T}{t}$$

Donde en realidad **P** es la potencia media desarrollada, dado que pudo haber variaciones de trabajo en el medio del proceso (picos de trabajo, momentos donde no se realizó trabajo por detención momentánea de la actividad, etc.).

En función de la energía, la potencia media se define como:

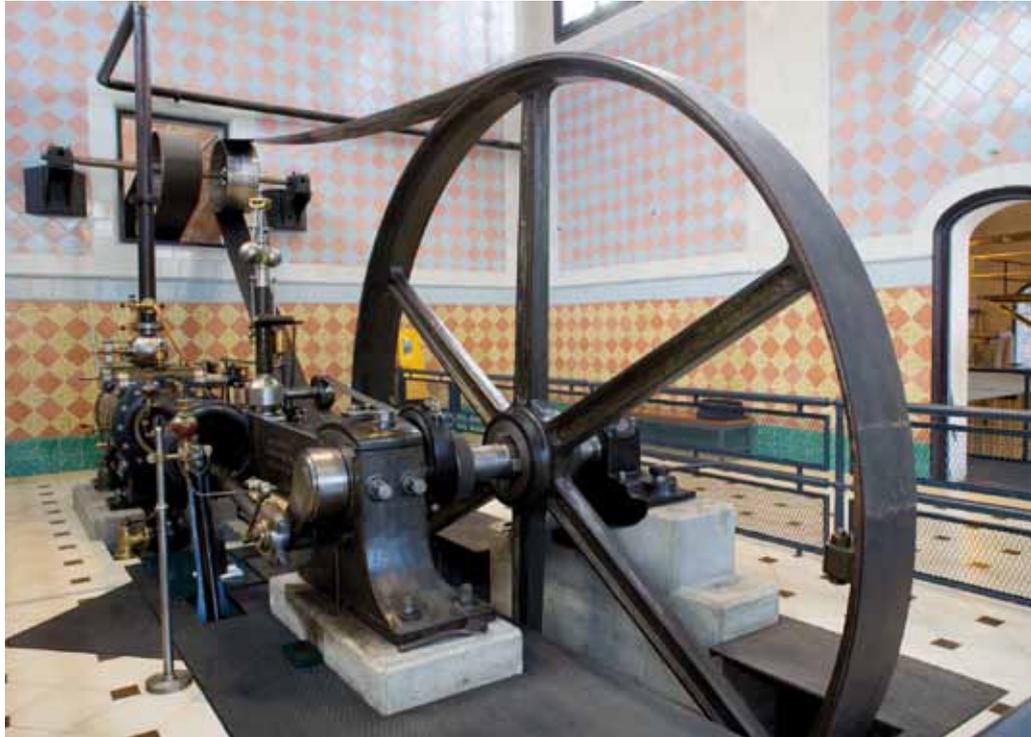
$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía transformada}}{\text{Tiempo transcurrido}} = \frac{E}{t}$$

Con el perfeccionamiento de la máquina de vapor, algunos seres humanos comenzaron a vislumbrar la posibilidad de mayor producción y riqueza. Es muy interesante el caso de la fábrica de botones y de adornos metálicos de Matthew Boulton. Para realizarlas piezas se utilizaba una máquina (molino) movida por una rueda de paletas que giraba con el agua de un pequeño río.

Preocupado por mejorar su producción, conoció a un joven y desconocido ingeniero escocés de nombre James Watt. En poco tiempo, Boulton quedó fascinado. Hasta aquel momento las máquinas de vapor se utilizaban como bombas de agua. Pero Watt, que había perfeccionado el modelo existente, hizo elevar el agua del río hasta la parte superior de la gran rueda, haciéndola girar constantemente, con independencia de la velocidad del agua del río. Watt había puesto la máquina de vapor al servicio de la producción industrial. Y Boulton se hizo así mucho más rico.

Boulton y Watt formaron una sociedad y se convirtieron en los primeros fabricantes de máquinas de vapor eficientes. Era el comienzo de la era de la potencia.

Boulton decía al respecto: “Vendo lo que todo el mundo quiere: potencia”.



Antigua máquina de vapor.

La ciencia no es una construcción de personas aisladas del mundo. Por el contrario, la ciencia está inmersa en el mundo, en una sociedad y en una época determinada. La ciencia está influida por los intereses sociales y económicos. La inversión económica da una dirección al desarrollo científico-tecnológico. Determina qué proyectos e investigaciones realizar y cuáles no. Prueba de ello es que lo que el mismo Boulton escribió: “Fueron dos los motivos que me movieron a ofrecerle mi asistencia: mi afecto por usted y mi afecto por un proyecto ingenioso que daba dinero” (tomado de una carta a James Watt).

## Las unidades de potencia

Thomas Savery construyó el primer motor de vapor en el año 1698 y propuso como unidad de medida la potencia desarrollada por un caballo. Así surgió el concepto de “caballo de fuerza” o potencia de un caballo (HP, del inglés *horse power*).

Actualmente, sabemos que la potencia realmente desarrollada por un caballo es algo inferior a 1 HP. La unidad que se tomó en el Sistema Internacional es el vatio o W (en inglés watt, en honor al ingeniero James Watt). El W equivale a la potencia desarrollada por una energía de un julio en un segundo.

Simbólicamente:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

$$\text{W} = \text{J/s}$$

El caballo de fuerza equivale a 746 W, es decir:

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

Una unidad de energía muy común es el kilowatt hora (kW.h). Se la utiliza en las facturas de electricidad. ¿A cuántos julios equivale 1 kW.h? Considere que  $1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W}$ .



## ACTIVIDADES

15. En una construcción se eleva un balde de arena de 25 kg a una altura de 10 m en 20 s. Calcule la potencia que desarrolla el motor.
16. Estime el consumo eléctrico bimestral de su casa. Para ello, haga un listado con los artefactos eléctricos que utiliza y complete el cuadro siguiente. Finalmente, compare con su factura de luz (dato:  $1 \text{ W} = 0,001 \text{ kW}$ ).

Artefacto	Potencia media (en Kw)	Tiempo de uso estimado (en horas)	Cálculo de energía (en kW.h)

17. A partir de los resultados de la Actividad 16, establezca de qué manera podría ahorrar energía eléctrica. Fíjese el precio de  $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$  en la factura y calcule cuánto dinero podría ahorrar.

## ¿ES LA ELECTRICIDAD UNA FORMA DE LA ENERGÍA?

Existen una serie de fenómenos que observados desde la antigüedad permitieron establecer que todos los cuerpos poseen cargas eléctricas. Diferentes teorías fueron elaboradas para justificar su existencia.

Admitimos hoy que todos los cuerpos están compuestos por **átomos** que poseen cargas positivas y negativas organizadas de acuerdo con diferentes modelos atómicos.



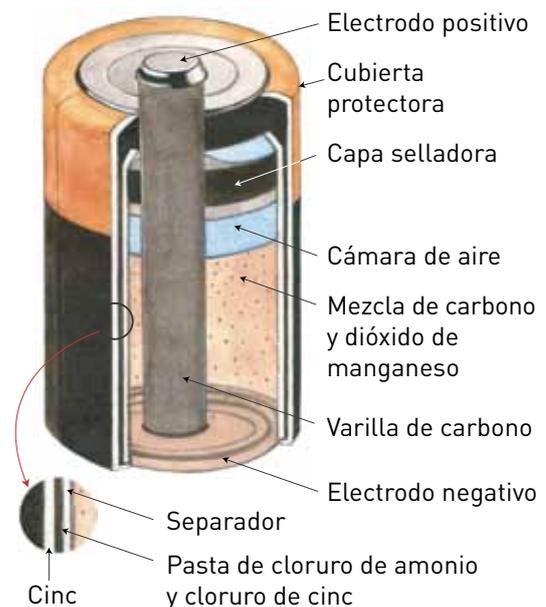
Concebimos al átomo de una manera simplificada compuesto por un **núcleo** que posee partículas con carga positiva llamadas **protones**, partículas neutras o **neutrones** y, girando alrededor de ese núcleo, partículas cargadas negativamente, los **electrones**.

### Corriente continua y alterna

Algunos materiales como los **metales** poseen gran cantidad de electrones libres. Cuando se le entrega a esos electrones la energía necesaria, éstos pueden desplazarse a través del material. Decimos entonces que se ha generado una **corriente eléctrica**.

Cuando conectamos un conductor a una fuente de energía eléctrica (que puede ser una pila, una batería, un alternador), se está entregando energía a los electrones libres del conductor que les permite desplazarse a lo largo de este. Si la fuente, por ejemplo, es una pila, ese flujo de cargas no cambia el sentido del movimiento y se denomina **corriente continua**.

Hay otros dispositivos, como los alternadores que entregan energía eléctrica a la red domiciliaria, que producen un flujo de electrones con sentidos variables a través del tiempo. Esto constituye una **corriente alterna**.



La figura muestra un generador de energía eléctrica muy difundido en nuestros días: la pila seca.

## EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

El uso de diferentes dispositivos que funcionan con energía eléctrica nos permite afirmar que este tipo de energía, cuya producción preocupa tanto a la humanidad en nuestros días, no es sino la generación de “algo” destinado a transformarse.

Podemos pensar a la electricidad como un medio para transportar energía que podrá ser transformada en otros tipos de acuerdo con una necesidad específica.

Para poder entender mejor estos procesos veamos qué sucede cuando circula corriente por un conductor.

### Efecto térmico de la corriente eléctrica

Es conocido el hecho de que un conductor por el que circula corriente sufre un aumento de temperatura. En algunas circunstancias, ese conductor puede llegar a fundirse (por ejemplo, cuando se quema el filamento de una lámpara de una linterna). Para que esto suceda debe haberse generado calor, o sea que en ese conductor debe haberse producido la transformación de energía eléctrica en energía calórica.

Existen dispositivos que producen la transformación de energía eléctrica en calórica y se denominan **resistores** o, más comúnmente, **resistencias eléctricas**. Tienen usos muy diversos. Por ejemplo, podemos encontrarlos en una plancha o en un secador de pelo.

La figura muestra una serie de resistencias de uso muy difundido.

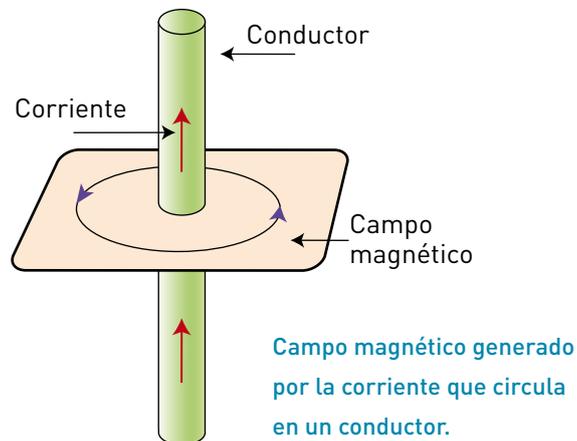


### ACTIVIDADES

18. Mencione dispositivos (diferentes de los mencionados en el texto) que utilicen resistencias.
19. Analice el funcionamiento de un fusible. ¿Cuál es la ventaja de su uso?

## Efecto magnético de la corriente eléctrica

La corriente que circula por un conductor genera alrededor de este un **campo magnético** que se puede detectar al colocar en su proximidad un pequeño imán como una brújula: esta se orienta "dibujando" a su alrededor una circunferencia.

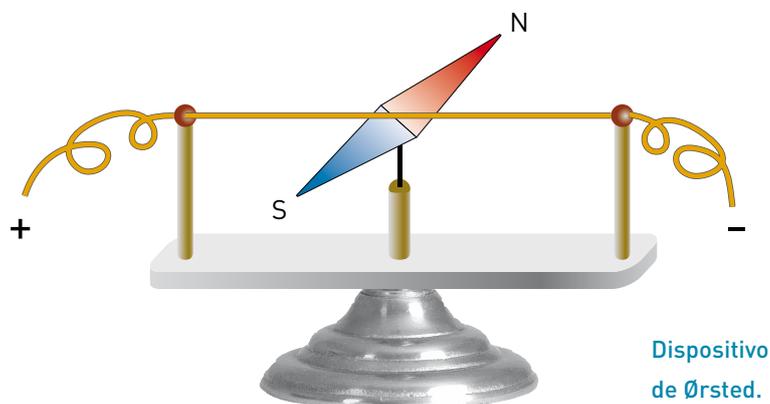


Este efecto merece nuestra atención debido a la importancia que tuvieron sus aplicaciones en el mundo moderno.

Si bien los imanes y sus efectos eran conocidos desde la antigüedad, fue Hans C. Ørsted (1777-1851) quien descubrió en 1820, en una de sus clases como profesor de la Universidad de Copenhague, que una aguja magnética se desviaba en las proximidades de un conductor por el que circulaba corriente eléctrica. Ya había previsto en un ensayo, publicado en 1813, una relación entre electricidad y magnetismo, pero esta experiencia le permitió confirmar sus predicciones en forma experimental.

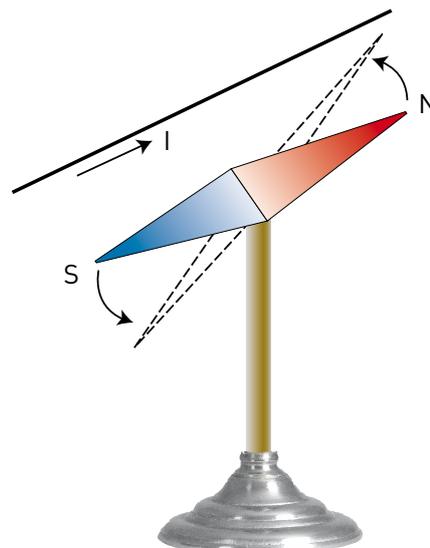
## La experiencia de Ørsted

Con un dispositivo similar al que se muestra en la figura, Ørsted pudo demostrar que la corriente eléctrica, o sea las cargas en movimiento, generan un campo magnético.

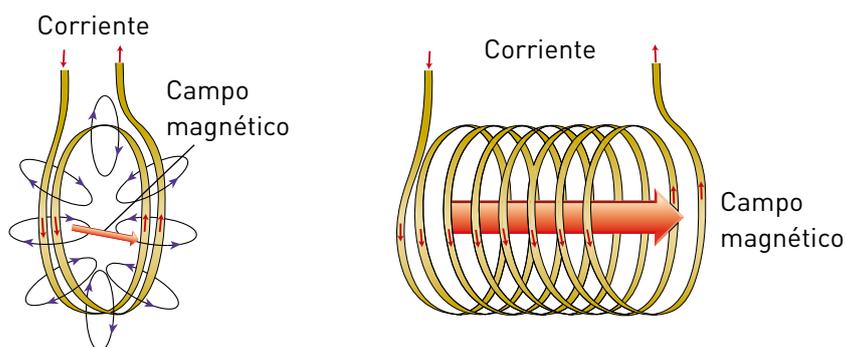
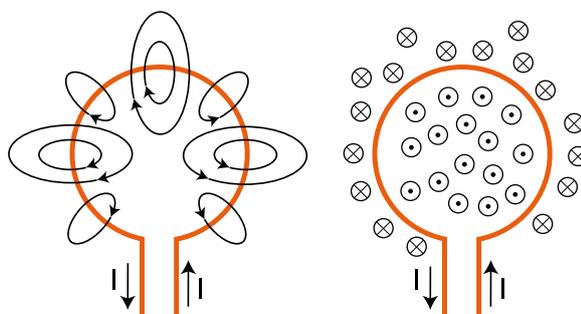


En ausencia de una corriente eléctrica, cuando se coloque la aguja cerca del conductor, no se observará ningún efecto sobre ella. Si el conductor es recorrido por la corriente, la aguja se colocará en una posición perpendicular a la anterior.

Es interesante observar que si al conductor por el que circula corriente le damos distintas formas y repetimos la experiencia anterior se obtienen los mismos efectos.

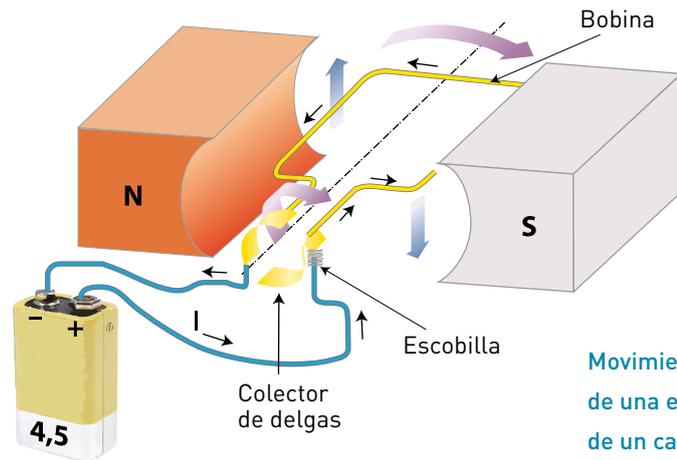


El conductor que se ilustra aquí recibe el nombre de **espira circular**. Podemos observar en la imagen el campo magnético que genera. Las líneas de campo están representadas por líneas concéntricas alrededor del conductor



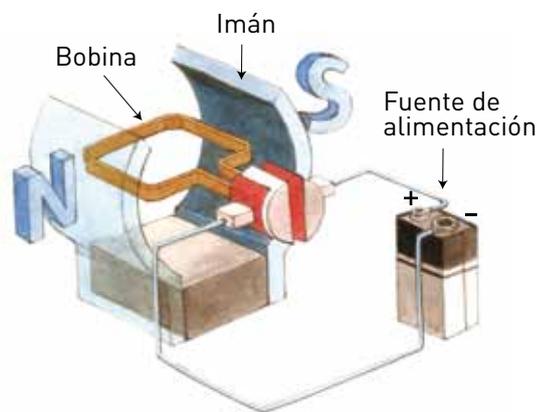
Este conductor recibe el nombre de **bobina**. Se puede observar la dirección y el sentido del campo magnético que genera la corriente que circula por él.

Fue notable el descubrimiento del efecto que aparece sobre una bobina al colocarla en un campo magnético o sea la interacción entre campo y corriente. En el caso de una espira, esta describe un movimiento de rotación debido a las fuerzas que actúan sobre ella.



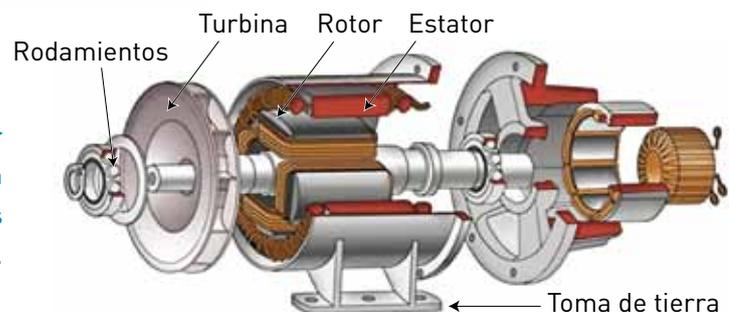
Movimiento de rotación de una espira por acción de un campo magnético.

El descubrimiento de estos fenómenos dio lugar a la construcción del **motor de corriente continua**.



Esquema simplificado de un motor de corriente continua. Se puede observar la fuente de alimentación, el imán que genera el campo magnético y la bobina sumergida en ese campo.

Vista interior de un motor de corriente continua donde se muestran sus componentes principales.



Es preciso aclarar que los motores eléctricos de uso doméstico o industrial funcionan con energía tomada de la red domiciliaria y, por lo tanto, la corriente utilizada no es continua, sino alterna, es decir, la corriente eléctrica en que la magnitud y el sentido varían cíclicamente.



## ACTIVIDADES

20. Analice y justifique qué tipos de energía están en juego en un motor de corriente continua.
21. Busque alguna aplicación de un motor de este tipo.

## INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

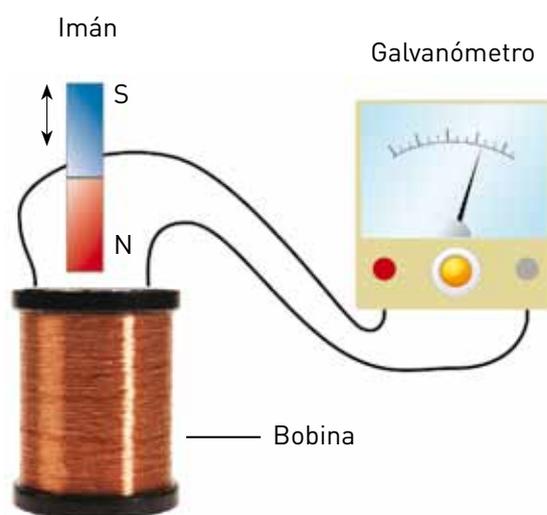
El descubrimiento de que la corriente eléctrica podía producir magnetismo fue muy importante para la física y la tecnología del siglo XIX.

Sin duda, los físicos de la época se habrán preguntado si el fenómeno inverso sería posible. O sea, producir energía eléctrica a partir del magnetismo. Michael Faraday, en Inglaterra, y Joseph Henry, en Estados Unidos, descubrieron en forma independiente y prácticamente simultánea (alrededor de 1830) el fenómeno de la **inducción electromagnética**, que tendría aplicaciones que modificarían trascendentalmente la forma de vida de la sociedad, ya que permitieron la generación de energía eléctrica para iluminar las grandes ciudades y sustentar a las industrias.

Estos científicos descubrieron que moviendo un imán dentro de una espira o una bobina conductora se generaba corriente eléctrica. Esta corriente se detecta conectando el conductor a un **galvanómetro**, dispositivo que indica el pasaje de corriente y, además, el sentido en que circula.

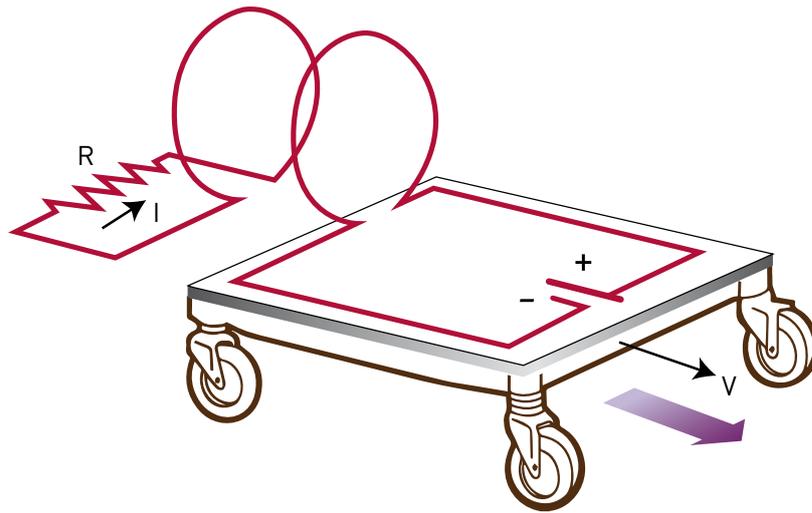
En las observaciones que hicieron durante sus experiencias verificaron que el sentido de la corriente variaba si el imán era introducido en la bobina o alejado de ella. También observaron que la intensidad de la corriente aumentaba si la velocidad con la que se desplazaba el imán era mayor y que el efecto se producía independientemente del movimiento relativo de un elemento respecto del otro.

Otra observación importante fue que al cesar el movimiento relativo no se detectaba circulación de corriente en el galvanómetro.



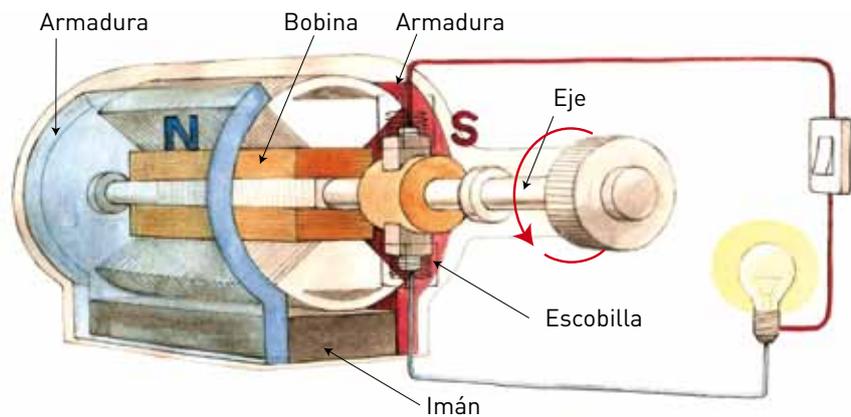
**Inducción electromagnética.**  
Si se mueve un imán dentro de una espira o una bobina conductora, se genera corriente eléctrica.

Si en vez de desplazar un imán frente a una bobina reemplazamos el imán por otra bobina por la que circula corriente, el efecto se repite (ya sabemos que una corriente genera un campo magnético).



Se observa que mientras se desplaza una espira conectada a una fuente circula corriente inducida por la resistencia **R**. Si desplazamos la otra espira, el resultado es idéntico. También se observa que cuanto más rápidamente se mueva cualquiera de ellas frente a la otra, la intensidad de la corriente aumenta. Lo mismo sucede al cerrar o abrir el circuito accionando un interruptor en el inductor. Se genera, en el otro circuito inducido, una corriente eléctrica.

Esquema de una **dinamo**. La manivela permite rotar la bobina dentro del campo magnético de modo que en esta aparece una corriente que se recoge mediante unas escobillas metálicas.



## ¿Cómo interpretamos estos fenómenos?

Para cerrar este tema hagamos hincapié en los dos efectos estudiados: el efecto Ørsted y la inducción electromagnética.

El primero permitió generar movimiento a partir de la corriente que circula por una espira sumergida en un campo magnético, lo que llevó a la invención del motor de corriente continua: **transformación de energía eléctrica en energía mecánica**.

El segundo permitió la generación de energía eléctrica por medio del movimiento de rotación de una espira colocada en un campo magnético, y con ello la invención del generador de voltaje: **transformación de energía mecánica en energía eléctrica**.



## ACTIVIDADES

22. Indique qué tipo de transformación de energía se lleva a cabo en los siguientes aparatos de uso doméstico:
- Una cortadora de césped
  - Un lavarropas
  - Un equipo de sonido
  - Un horno eléctrico
  - Un refrigerador
23. Se tiene una espira conductora conectada a un galvanómetro y se le acerca un imán, primero lentamente y luego mucho más rápidamente.
- ¿Qué puede decir acerca de la indicación del galvanómetro? ¿Cómo lo puede justificar?
  - Cuando aleja el imán, ¿qué ocurre?
  - Si reemplaza el imán por una espira conectada a una fuente y repite las operaciones indicadas anteriormente, ¿espera obtener los mismos resultados? Justifique su respuesta.
24. ¿Podemos decir que la pequeña dínamo que se usa para alimentar las luces de una bicicleta es una aplicación de la inducción electromagnética?
25. Trate de enumerar las formas de energía presentes en el caso analizado en la actividad anterior e indique cómo se transforman.
26. ¿Qué importancia considera que tuvieron en la sociedad los descubrimientos relacionados con la inducción electromagnética?

## POTENCIA ELÉCTRICA

En la página 98 se definió la potencia mecánica como la relación entre el trabajo realizado y el tiempo transcurrido o entre la energía transformada y el intervalo de tiempo transcurrido.

La definición es válida para la **potencia eléctrica**. En realidad debemos hablar de la potencia desarrollada por un dispositivo. Para que un aparato eléctrico funcione se lo debe conectar a un generador de energía eléctrica (por ejemplo, la red domiciliaria) y por este circulará entonces una intensidad de corriente determinada que transformará una cantidad de energía eléctrica, en un cierto intervalo de tiempo, en otra forma de energía.

Debemos suponer que a mayor cantidad de energía transformada en la unidad de tiempo (segundos) mayor será la potencia desarrollada.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Se puede demostrar que la potencia eléctrica resulta:

$$P = V \cdot i$$

Donde **V** corresponde, prácticamente, al voltaje al cual conectamos el dispositivo e **i** a la intensidad de corriente que circula por él.

Las unidades utilizadas son el vatio (W) y el kW que ya conocemos.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/seg}$$

$$1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W}$$



### ACTIVIDADES

27. En un comercio le ofrecen secadores de cabello de diferentes potencias, desde 600 W hasta 2.000 W.
- Pensando en la eficiencia del artefacto ¿cuál elegiría? Justifique su respuesta.
  - Calcule qué cantidad de energía transforma cada uno en la unidad de tiempo.
  - Pensando en el costo que trae aparejado su uso, ¿cuál escogería? Justifique su respuesta.

## ENTONCES: ¿QUÉ ES LA ENERGÍA?



Es importante darse cuenta que en la física actual no sabemos lo que la energía es [...] sin embargo, hay fórmulas para calcular cierta cantidad numérica. Y cuando las juntamos todas nos da siempre el mismo número.

Richard Feynman, premio nobel de Física, 1963.

Richard Feynman cuenta qué es la energía mediante una famosa analogía. Imaginemos a un niño, Daniel el Travieso, que tiene bloques indestructibles. Al finalizar el día, la madre los cuenta para guardarlos en la caja. Son 28 bloques. Esto lo hace cada noche. Un día hay sólo 27, pero la madre busca por debajo de la cama y encuentra el faltante. El número de bloques no ha cambiado. Sin embargo, un día el número parece cambiar, sólo hay 26 bloques. Revisa toda la casa y no están. Realiza entonces una cuidadosa investigación. Descubre una ventana abierta, y al mirar hacia afuera, encuentra los otros dos bloques. Pero otro día, encuentra que hay 29 bloques. Esto causa gran consternación hasta que averigua que vino su amigo Bruce a visitarlo, trayendo sus bloques consigo. Habla con la mamá de su amiguito, y comprueba que a Bruce le faltaba un bloque.

¿Cuál es la analogía? La madre no sabe exactamente de qué están hechos los cubos, pero puede descubrir qué sucede con ellos. Nosotros no sabemos qué es la energía, pero por ahora podemos analizar, descubrir y predecir fenómenos relacionados con ella. Cuando calculamos la cantidad de energía, a veces algo de ella entra o sale del sistema, pero la cantidad total dentro y fuera se mantiene. La ley establece que hay “cierta cantidad” que no cambia.

Los conceptos y las definiciones físicas no son inmutables. Se reinterpretan, se resignifican y reconstruyen a lo largo del tiempo. Una de las tareas de las comunidades de científicos es analizar hasta qué punto son válidas las afirmaciones sobre la naturaleza hechas por otros.

Si bien no tenemos una respuesta a qué es la energía, tampoco estamos como al inicio. Incluso las definiciones provisorias y prácticas nos permiten “progresar”, realizar nuevos descubrimientos y desarrollos tecnológicos. Aunque como sabemos, progresar no siempre sea sinónimo de mejora de la calidad de vida de cada uno de nosotros, ni de la humanidad toda, ni del planeta.

## UN PROBLEMA DE VITAL IMPORTANCIA

Estamos habituados a dialogar e informarnos sobre algunas cuestiones que afectan de modo fundamental a la humanidad. En estos últimos años, además de la contaminación, el hambre, las guerras, la desigualdad social, aparece otro tema como urgente, tratado cada vez más por los medios masivos y por la opinión pública: la generación de energía a gran escala.

Actualmente, el petróleo es el principal combustible utilizado en el mercado mundial. Pero, al ritmo de consumo actual, las reservas conocidas podrían abastecernos sólo algunas décadas más y, a medida que se agote, el precio tenderá a subir aceleradamente. El carbón y el gas, al igual que el petróleo, son químicamente contaminantes y al ritmo de consumo actual también terminarán por agotarse.



### ACTIVIDADES

28. Haga una lista de problemas que aparecerían si de repente nos quedáramos sin petróleo en todo el mundo.
  - a. Elija los problemas que considere más graves y coméntelos con sus compañeros y su docente.
  - b. Proponga posibles soluciones a los problemas planteados. ¿Qué papel juega la Física en las soluciones propuestas?
  - c. ¿Considera que actualmente es una prioridad aumentar la inversión económica en formación e investigación en Ciencias físicas en nuestro país? Fundamente la respuesta.
  
29. En nuestro país, el petróleo se descubrió por casualidad mientras los pobladores de Comodoro Rivadavia buscaban agua. Esto ocurrió el 13 de diciembre de 1907.
  - a. ¿Qué ventajas y desventajas ocasiona la exportación de petróleo a otros países?
  - b. ¿Considera que es una buena medida que se siga exportando petróleo a otros países mientras disminuyen nuestras reservas para el futuro?
  - c. ¿Qué opina sobre la privatización de las empresas petrolíferas? Justifique sus respuestas y compártalas con sus compañeros y su docente.

# FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA



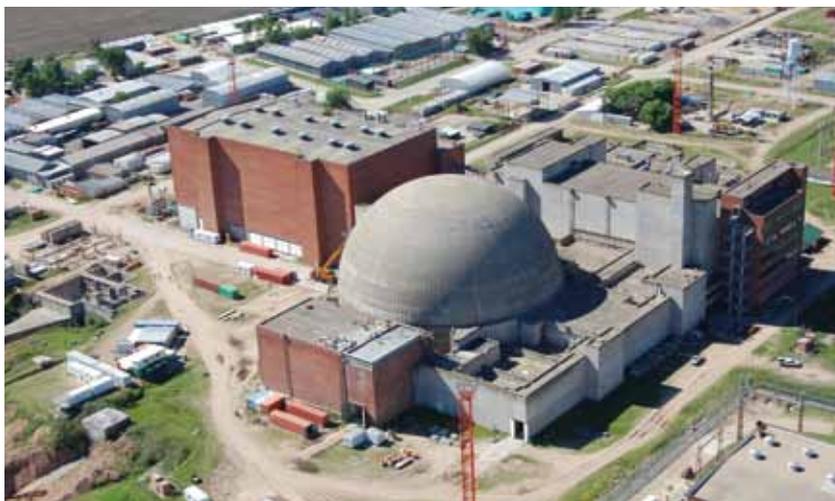
## ACTIVIDADES

30. Observe las imágenes.
- Asocie cada una con las diferentes formas de energía.
  - Determine los posibles usos de estas formas de energía.



Ante el agotamiento de los recursos energéticos fósiles (petróleo, gas y carbón), se plantean otras maneras de aprovechar y generar energía a gran escala. A continuación, presentamos brevemente estas fuentes alternativas.

**Energía nuclear:** el núcleo de los átomos almacena una enorme cantidad de energía y la utiliza para mantener unidos a los neutrones y a los protones. La actual tecnología nuclear aprovecha esta energía en tratamientos contra el cáncer, en la esterilización de productos de uso medicinal, en el estudio de los suelos, en la conservación de alimentos, en las armas de destrucción masiva, en la producción de energía eléctrica, entre otros usos.



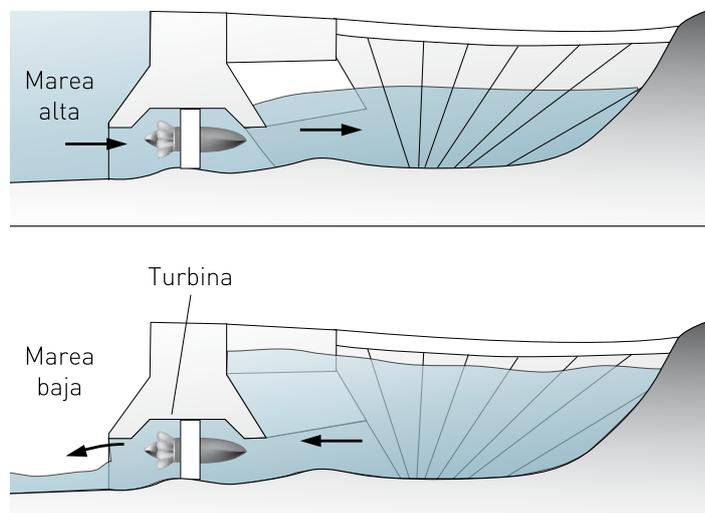
Central Nuclear  
Néstor Carlos  
Kirchner (Atucha II),  
Lima, partido de  
Zárate.

**Energía hidráulica:** durante mucho tiempo se ha utilizado el movimiento del agua para obtener energía. Un uso muy común fue el de hacer girar ruedas de molinos para la molienda de granos de cereales. Estas ruedas poseían muchas paletas y se las llamó **ruedas hidráulicas**. Actualmente las ruedas han sido reemplazadas por turbinas hidráulicas, las cuales permiten obtener gran cantidad de energía. Para que las turbinas puedan funcionar, es necesario disponer de un gran caudal de agua en forma permanente. En los lugares donde no hay corrientes de agua importantes, es necesaria la construcción de diques o presas que acumulen el agua y que la dejen pasar por conductos hasta las turbinas. Las centrales hidroeléctricas poseen turbinas que al girar hacen funcionar los generadores (dínamos), a partir de los cuales se obtiene electricidad.



La energía del agua hace girar  
grandes ruedas hidráulicas.

**Energía mareomotriz:** es la energía que se obtiene de las aguas de los mares y océanos debido al movimiento de las mareas. Varios molinos de agua en la Gran Bretaña del siglo XVII eran accionados por las mareas. Hoy, en las centrales mareomotrices, se aprovecha el movimiento de las mareas para transformarlo en energía eléctrica.



De acuerdo con la marea, la turbina es movida por el agua en los dos sentidos.

**Energía eólica:** es la que se obtiene del viento. Recibe su nombre de Eolo, el dios de los vientos en la mitología de la antigua Grecia. Durante siglos, los molinos se sirvieron del viento para producir energía en forma económica. Antiguamente se los usaba para triturar granos y hacer harina. Holanda es considerada la patria de los molinos de viento, pues a fines del siglo XVIII funcionaban en su territorio miles de ellos. Hoy se pueden ver molinos de viento en el campo que son utilizados para extraer el agua que está debajo de la tierra. Modernos molinos pueden transformar la energía cinética del aire en energía eléctrica. A dichos molinos se los llama **aerogeneradores**.



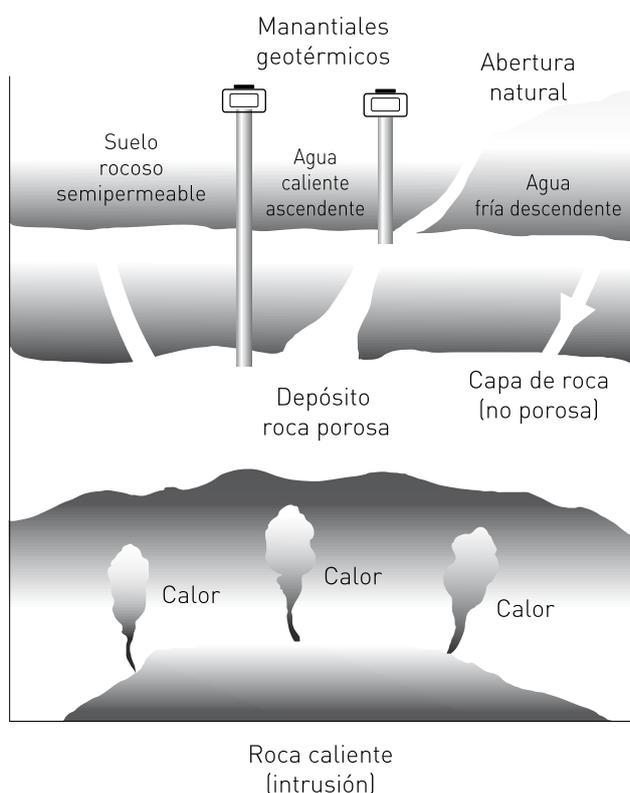
Los aerogeneradores poseen aspas de varios metros de longitud.

**Energía solar:** el Sol ha estado irradiando grandes cantidades de energía durante unos 5.000 millones de años y continuará así varios miles de millones de años más. Es la fuente de energía más importante que es posible aprovechar. Mediante **paneles solares** es posible captar esta energía y producir energía eléctrica, aunque todavía los sistemas de transformación son poco eficientes.



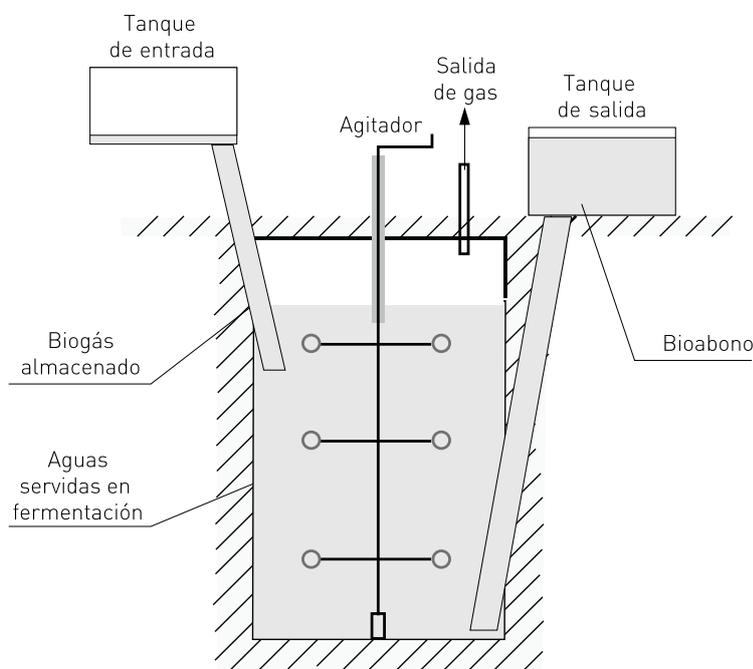
Edificio abastecido por energía solar.

**Energía geotérmica:** la utilización de la energía geotérmica para la calefacción se remonta a la antigua Roma: allí se la utilizaba en las termas o baños públicos. El centro de nuestro planeta se encuentra a altísimas temperaturas (a más de 4.000 °C). Una fracción de la energía interna llega lentamente a la superficie de la Tierra en forma de calor. En algunas zonas las aguas termales, a temperaturas de entre 50 °C y 100 °C, son utilizadas para calentar viviendas, como ocurre en Islandia o en algunas ciudades francesas.



Energía geotérmica: el vapor de agua asciende naturalmente o por tubos profundos.

**Biogás:** el gas biológico o biogás se obtiene mediante la acción de bacterias sobre desechos orgánicos, proceso en el que se produce gas metano, en grandes tanques denominados **digestores**. El gas obtenido puede utilizarse, por ejemplo, para mover turbinas. Es utilizado frecuentemente en países de Oriente. En Occidente, su utilización es escasa.



Esquema de un biodigestor.



## ACTIVIDADES INTEGRADORAS

1. A partir de la información de la Unidad y de la búsqueda de datos en otras fuentes, realice un cuadro de doble entrada donde se indiquen:
  - a. Nombre de la fuente de energía.
  - b. Si es renovable o no.
  - c. Formas de energía asociadas.
  - d. Ventajas (técnicas, sociales y económicas).
  - e. Inconvenientes de su empleo.
  - f. Impacto ambiental (ninguna fuente de energía es inocua, de una u otra manera todas afectan al ambiente).
  - g. Si la Argentina aprovecha ese tipo de recurso. En caso afirmativo, dónde.
  
2. Elija una zona de nuestro país y analice:
  - a. ¿Qué fuentes alternativas serían posibles y convenientes en dicha zona?
  - b. ¿Qué características deberían tener las casas para generar energía y/o disminuir su consumo?
  - c. ¿Qué ventajas económicas podrían obtenerse a mediano o largo plazo gracias a la generación y aprovechamiento de las fuentes alternativas de energía?

## UNIDAD 4

### Ondas: la energía y su transmisión

La mayor parte de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general, pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos.

Albert Einstein

(Físico alemán, 1879-1955)

# INTRODUCCIÓN

Ya hemos visto en la Unidad 3 algunas formas de energía y sus transformaciones. Nos detendremos ahora a analizar dos mecanismos de transmisión de energía:

- Las ondas mecánicas.
- Las radiaciones.

Como ejemplo de transmisión de energía por medio de ondas mecánicas analizaremos el caso de las **ondas sonoras**. Para ejemplificar la transmisión de energía por radiación, examinaremos el caso de la **luz**.

Estos dos mecanismos de transmisión tienen vital importancia en el mundo actual y nos permiten entender, por ejemplo, cómo se transmite de energía que se produce en un terremoto, cómo se generan las olas en el mar, cómo recibimos información a través del sonido y cómo llega la energía solar al planeta Tierra.

En esta Unidad también discutiremos acerca de la naturaleza de la luz y las respuestas a este interrogante propuestas por los científicos a través de diversos modelos.

Las preguntas que siguen le servirán de guía para orientarse en el desarrollo de esta unidad:

- ¿A qué llamamos ondas mecánicas? ¿Cómo se producen y cómo se propagan?
- ¿Qué es el sonido?
- ¿Cómo llega hasta nosotros la luz del Sol?
- ¿Cuál es la naturaleza de la luz?
- ¿Qué es el espectro electromagnético?

## ONDAS MECÁNICAS

El 23 de noviembre de 1977 se registró en la provincia de San Juan el mayor terremoto de la región, que destruyó casas y edificios en toda la zona, especialmente en la ciudad de Caucete. En edificios altos a más de 1.000 km de distancia se sintieron sus efectos apreciablemente. En la Capital Federal se percibieron las vibraciones producidas por este temblor de tierra.

¿Cómo se propaga la energía asociada a un fenómeno como este? Podemos describir estos hechos diciendo que un terremoto produce **ondas sísmicas** que rápidamente se propagan desde el epicentro del sismo hasta lugares distantes provocando perturbaciones muchas veces catastróficas. Esta propagación de energía no implica movimiento neto de la tierra afectada.

Existen numerosos ejemplos que nos muestran que la energía se puede transmitir sin desplazamiento de materia. Veamos algunos:

- El repicar de una campana lo podemos escuchar aún cuando nos encontremos lejos de ella. La energía sonora se transmite, se propaga, mientras la campana sigue vibrando en el mismo lugar.
- La “ola” que producen los hinchas en una cancha de fútbol se origina cuando algunos de ellos se levantan de sus asientos y luego se sientan; a continuación, hacen este movimiento los que están en la fila siguiente y así sucesivamente. Se transmite energía a lo largo de toda la ola sin que los hinchas cambien de lugar.
- Al mover hacia arriba y hacia abajo el extremo de una soga tendida en dirección horizontal, producimos ondulaciones. La perturbación que ocasionamos en el extremo, se desplaza horizontalmente a lo largo de la soga y cada punto de ella se mueve hacia arriba y hacia abajo. Lo que avanza por la soga es la perturbación y no partes de ella.
- Se puede observar lo que ocurre cuando se tira una piedra en un lago en calma. La perturbación originada se propaga por la superficie del lago en todas direcciones, pero cada gota de agua alcanzada se mueve hacia arriba y hacia abajo sin cambiar de lugar.

La propagación de una perturbación en un medio material sin transporte de materia produce una **onda mecánica**.

Llamamos ondas mecánicas a los movimientos ondulatorios que se producen en un medio material.

Si en una bañera con agua provocamos con un pulsador perturbaciones que se repiten a intervalos regulares (periódicas), observaremos que las perturbaciones se propagan en todas direcciones a partir del foco perturbador, que es el origen de estas alteraciones. Si luego colocamos un barquito de juguete dentro de la bañera, veremos que cuando es alcanzado por las perturbaciones sube y baja, pero no modifica su posición respecto del foco.



Ondas mecánicas en el agua.

Todos los puntos del agua se comportan de la misma manera: reproducen la perturbación original con un cierto retraso debido al tiempo que tarda la perturbación en alcanzarlos. Las circunferencias que se forman alrededor del foco corresponden a zonas del agua que fueron alcanzadas en el mismo momento por la perturbación y están vibrando de la misma manera.

Entre la formación de una zona clara y la siguiente ha transcurrido un tiempo que llamamos **período T** que será igual al tiempo que utiliza el pulsador en realizar una vibración completa. La distancia que separa dos zonas claras sucesivas la llamamos **longitud de onda  $\lambda$** .

## Velocidad de propagación y ondas periódicas

En medios distintos la velocidad de propagación de las ondas es distinta y es característica del medio. Si el generador de pulsos vibra en forma regular origina una onda periódica. Dijimos que se llama período T al tiempo que tarda en producir una vibración. La velocidad de propagación puede calcularse si conocemos el valor del período y lo que recorrió la perturbación en el medio, en ese tiempo. La distancia recorrida en un período dijimos que se llama longitud de onda  $\lambda$ . Entonces, podemos calcular la **velocidad de propagación**, que será constante si el medio es homogéneo, como:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

La **frecuencia f** de las ondas nos da el número de vibraciones que se producen en la unidad de tiempo. Entonces,  $f = 1/T$ , y cuando T se mide en segundos, f se mide en hertzio (1Hz = 1/s).

Tengamos en cuenta las siguientes relaciones:

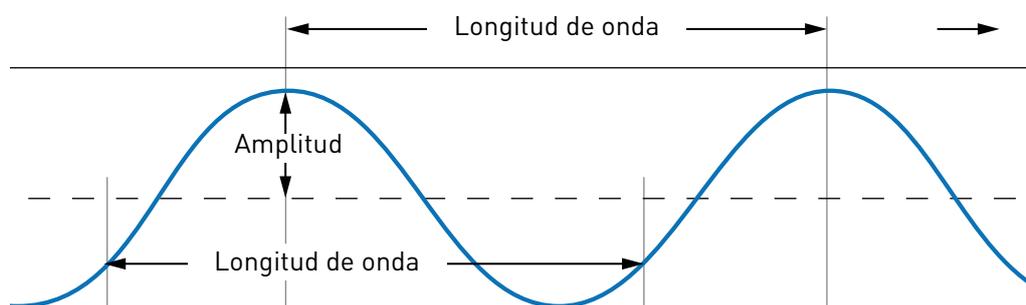
$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \lambda \cdot f$$

que vinculan la velocidad de propagación de las ondas con la frecuencia de la perturbación y el período.

Si hacemos vibrar hacia arriba y hacia abajo el extremo de una soga estirada y tomamos una foto de la soga vibrante, nos mostrará la posición de las distintas partículas que la forman en el instante en que la fotografiamos.



Elementos de una onda.

Observamos en la imagen crestas y valles. Las crestas corresponden a los puntos de la soga que están más separados, hacia arriba, de sus posiciones de equilibrio y los valles lo forman los puntos de la soga más alejados del equilibrio, hacia abajo. La distancia entre dos crestas (o entre dos valles) sucesivas es lo que se denomina **longitud de onda**. La onda se está propagando hacia la derecha del dibujo y las partículas vibran hacia arriba y hacia abajo. Cuando la vibración de las partículas del medio se realiza en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda decimos que se trata de una **onda transversal**.

Llamamos **amplitud** a la máxima separación que pueden tener las partículas de la soga respecto de su posición de equilibrio.

Se puede lograr mayor transporte de energía si la onda es más intensa. La **intensidad** está relacionada con la amplitud. Si el extremo de la soga vibra con más amplitud, las partículas del medio se separan más de las posiciones de equilibrio. Las crestas y los valles que se forman en la soga son más "profundos".

Las olas en el mar son un ejemplo de movimiento ondulatorio. Las olas más altas, de mayor amplitud, transportan más energía. Para un barco que navega, las olas altas aumentan los riesgos en la navegación.

Si hacemos vibrar a la soga con mayor rapidez incrementando la frecuencia de vibración  $f$ , veremos que la distancia entre crestas disminuye es decir, la longitud de onda es menor. Para conseguir esto es necesario entregar al extremo de la soga más energía.

La **onda transportará más energía cuando la frecuencia de vibración sea mayor**, o lo que es lo mismo, cuando su longitud de onda sea menor.

En el caso del barco que navega, cuando las olas que golpean contra él llegan con una frecuencia cada vez mayor, mayor será la energía que las olas están transmitiendo.

**La energía que transmite una onda depende de la frecuencia de la perturbación que se propaga y de la amplitud de la onda.**

Resolvamos una situación problemática.

Volvamos al ejemplo del pulsador que genera perturbaciones en la bañera con agua. Si se produce un pulso cada 0,1 segundos, al medir  $\lambda$  se obtiene que su valor es 3 cm.

- ¿Cuál es la velocidad de propagación de las ondas generadas?
- Si el pulsador genera un pulso cada 0,5 segundos ¿cuál será el valor de  $\lambda$ ?

a. Sabemos que la longitud de onda que se está produciendo es de  $\lambda = 3$  cm y que el período de vibración es de  $T = 0,1$  s. Entonces, recordando que

$$v = \lambda / T \quad \rightarrow \quad v = 3 \text{ cm} / 0,1 \text{ s} \quad \rightarrow \quad v = 30 \text{ cm/s}$$

b. Ahora ha cambiado el período de vibración,  $T = 0,5$  s, y como el medio es el mismo, la velocidad de propagación de las ondas será la misma:  $v = 30$  cm/s. Entonces, la longitud de onda de la nueva onda resultante será:

$$\lambda = v \cdot T \quad \rightarrow \quad \lambda = 30 \text{ cm/s} \cdot 0,5 \text{ s} \quad \rightarrow \quad \lambda = 15 \text{ cm}$$

En síntesis:

**Las ondas materiales:**

- Son perturbaciones que se propagan en un medio, sin transporte de materia.
- Transmiten energía.
- La energía transmitida depende de la amplitud de la onda y de la frecuencia.



## ACTIVIDADES

1. Proponga algún ejemplo de onda mecánica.
2. Explique de qué manera se puede aumentar la energía transmitida por una onda. Mencione algún ejemplo.
3. Imagine una soga a través de la cual se propaga una onda ¿qué representan las crestas y los valles?
4. ¿De qué depende la velocidad de propagación de una onda mecánica?

## EL SONIDO

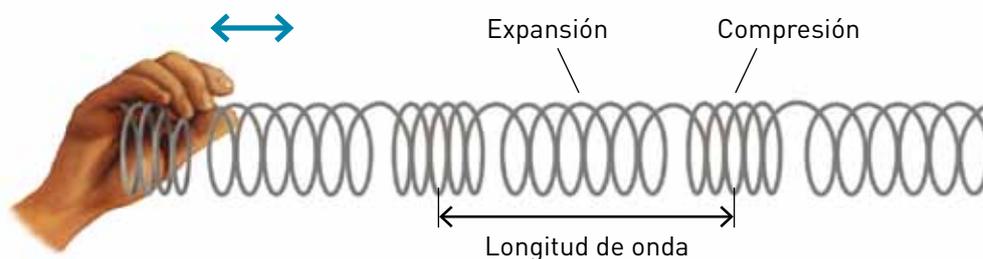
Los sonidos son muy importantes para nosotros porque transmiten información. Las cuerdas vocales, por ejemplo, pueden emitir sonidos y a través del lenguaje nos comunicamos con los demás.

Si mientras hablamos o cantamos ponemos una mano en el cuello a la altura de la garganta podemos sentir como vibran nuestras cuerdas vocales. Cuando un guitarrista hace “hablar” a su guitarra, pulsa las cuerdas del instrumento y las hace vibrar. Todos los instrumentos musicales desde los más primitivos a los más sofisticados, producen sonidos a partir de la vibración de “algo”.

**El sonido es la propagación de una vibración a través del medio en que se encuentra la fuente sonora y constituye un movimiento ondulatorio.**

Cuando presionamos la tecla de un piano ponemos en movimiento un pequeño martillo asociado que golpea una cuerda tensa que se encuentra en el interior del instrumento. La cuerda comienza a vibrar y su movimiento se transmite a todo el medio, aire en este caso. Las partículas de aire reproducen la perturbación original y vibran en la misma dirección en que esta perturbación se propaga. La forma de la onda que se produce es análoga a la de un resorte horizontal que está siendo comprimido y estirado en un extremo. Estas compresiones y estiramientos se reproducen a lo largo del resorte. Cada partícula del resorte vibra en la dirección en la que la onda se propaga.

La onda que se origina se denomina **onda longitudinal**. Entonces, una fuente vibrante produce un sonido que se expande en todas direcciones en forma de onda longitudinal transmitiendo energía. Nuestro oído al ser alcanzado por la onda sonora reproduce a través de las vibraciones del tímpano la perturbación original.



Propagación de una onda longitudinal.

¿Qué pasaría si entre la fuente emisora y el receptor no hubiera aire? La respuesta debe ser inmediata: no tendríamos sonido. **Sin medio material no puede existir propagación, es decir onda sonora, aún cuando la fuente esté vibrando.**

Los astronautas que aterrizaron en la Luna se comunicaban entre sí a través de la radio. Sin atmósfera, las vibraciones de sus cuerdas vocales no podían propagarse fuera de su traje protector y en consecuencia el sonido no llegaba a su compañero. Las ondas de radio, de naturaleza electromagnética, se propagan en el vacío. Las ondas electromagnéticas se tratan al final de la unidad.

El **metrónomo** es un aparato utilizado para indicar el tiempo o el compás de las composiciones musicales. Produce regularmente una señal visual o acústica que permite a un músico mantener un tiempo constante. Si se coloca un metrónomo debajo de una campana de vidrio, lo vemos y lo escuchamos. Si se saca el aire que hay en la campana con una bomba de vacío, seguimos viendo el movimiento del metrónomo, pero no lo escuchamos.



Metrónomo.



## ACTIVIDADES

5. Explique cuál es la diferencia entre una onda longitudinal y una onda transversal.
6. Elija la opción correcta para completar la siguiente afirmación.  
Una onda transversal transmite energía en un medio de derecha a izquierda. Las partículas del medio se moverán...
  - a. de izquierda a derecha solamente.
  - b. hacia ambos lados en la dirección de propagación.
  - c. de arriba hacia abajo solamente
  - d. hacia ambos lados en dirección perpendicular a la de propagación
7. Discuta la validez de las siguientes afirmaciones.
  - a. La onda sonora se propaga en el vacío y en cualquier medio material.
  - b. Cuando dos ondas de sonido de igual amplitud se propagan por el mismo medio podemos asegurar que la onda de mayor frecuencia transmite menos energía que la de menor frecuencia.

## Comportamiento de las ondas frente a un obstáculo

Algunos ejemplos nos ayudarán a comprender cómo se comportan las ondas frente a un obstáculo.

Consideraremos primero la perturbación originada en el agua de una piscina por la caída de una hoja. Esta perturbación se propaga en todas direcciones y cuando llega al límite de la piscina, invierte su sentido de propagación, "rebota": **se refleja**.



Reflexión de las ondas.

Si observamos a las ondas en el agua que llegan hasta un bote de pequeñas dimensiones veremos que lo bordean y perturban al agua detrás de él. En este caso decimos que las ondas **se difractan**. Si esas ondas llegan a un barco, el efecto pasa desapercibido. El obstáculo en este segundo caso es de mayor tamaño y ocasiona una difracción mucho menor.

**La longitud de onda de una onda que se propaga y el obstáculo con el que se encuentra tienen que ser de tamaños semejantes para poder observar el fenómeno de difracción.**

El sonido es una onda y como tal se refleja y se difracta. Veamos algunas situaciones que permiten ilustrar estos fenómenos.

- El eco es un ejemplo de la reflexión del sonido. Recordemos que aparece cuando alguien grita frente a una gran superficie a una cierta distancia, como un acantilado lejano. Un tiempo después se vuelve a escuchar el grito como si viniera del acantilado: se ha reflejado.
- Se puede medir la profundidad del océano enviando, desde un bote adecuado, una señal ultrasónica (de alta frecuencia) que se propaga a 1.530 m/s en el agua de mar hacia el fondo del lecho marino. Esa señal es devuelta, reflejada por el fondo, y al medir el tiempo que tarda en ir y volver se puede calcular la distancia que recorre.

- El sonido bordea los obstáculos. Podemos escuchar la voz de una persona que está en una habitación vecina a la nuestra a través de la puerta abierta aún cuando estemos al costado de la puerta. El sonido se ha difractado.
- Cuando hablamos, los sonidos producidos por las vibraciones de nuestras cuerdas vocales se propagan hacia el aire pasando a través de la boca, que se comporta como un obstáculo. Aún cuando nos dirijamos a alguien que esté frente a nosotros, se podrá escuchar nuestra voz detrás de nosotros. Se produjo difracción. La energía de la onda sonora se distribuye por una zona importante del espacio. Si queremos que los sonidos lleguen con mayor intensidad a una zona en particular podemos utilizar un megáfono. La voz pasará por una abertura de mayor dimensión que la boca y la difracción que se producirá será menor. Podemos entonces enviar más energía en la dirección que nos interesa.
- Dos sonidos pueden propagarse simultáneamente por el mismo medio y producir una perturbación que será el resultado de su superposición. Por ejemplo, cuando presenciamos en un teatro la representación de una obra, las voces de los actores se propagan en el aire como ondas sonoras y llegan directamente hasta nosotros. Pero también se reflejan en las paredes de la sala. Estas ondas reflejadas se superponen con las ondas directas. En algunas zonas de la sala, ambas ondas sonoras al sumar sus efectos pueden dar como resultado un refuerzo de sonido (mayor amplitud), ya que perturban a las partículas del medio, en la misma dirección y sentido. En otras zonas el resultado puede ser, a veces, la anulación de la onda resultante si perturban a las partículas en sentidos contrarios. Se disminuye este efecto acondicionando las paredes y el fondo de la sala con materiales que absorben las ondas sonoras y reducen la energía de las ondas reflejadas. Los cortinados sirven de decoración, pero también de control de la reflexión.

La propagación de dos ondas por el mismo medio en forma simultánea se conoce con el nombre de **interferencia**. Las ondas interfieren constructivamente cuando la amplitud resultante es máxima e interfieren destructivamente cuando la amplitud resultante es nula.

Podemos finalizar entonces planteando que el sonido, como cualquier onda mecánica:

- se refleja,
- se difracta,
- interfiere.



## ACTIVIDAD

8. Discuta la validez de la siguiente afirmación: el sonido se propaga a través de un medio como una onda transversal.

## Velocidad del sonido

Como en toda onda mecánica la velocidad de propagación del sonido depende del medio. Los experimentos realizados para medir las velocidades en distintos medios demuestran que el sonido se propaga con mayor velocidad en los sólidos, más lentamente en los líquidos, y aún más lentamente en los gases.

La velocidad de propagación en un medio específico depende de la capacidad que tiene el material para cambiar su forma cuando se le aplica una fuerza y recuperarla cuando esa fuerza deja de actuar. Esa capacidad se denomina **elasticidad**. Los materiales más elásticos permiten una propagación de la onda sonora con mayor rapidez e intensidad.

Medidas cuidadosas determinaron que la velocidad de propagación del sonido en el aire a una temperatura de 20° C es de 340 m/s. Este valor aumenta con la temperatura.

Entre dos sonidos emitidos por la misma fuente sonora, como un piano, podemos distinguir cuál es más débil o más fuerte y cuál es más agudo o más grave. Estas cualidades del sonido están vinculadas con las características de las ondas emitidas en cada caso. La intensidad tiene que ver con la amplitud de la onda sonora y la agudeza o gravedad con la frecuencia.

**Sonidos más intensos** → **Amplitudes mayores**  
**Sonidos más agudos** → **Frecuencias mayores**

No todas las ondas sonoras son detectadas por el oído humano. La intensidad sonora depende de la frecuencia. Al medirse las frecuencias audibles para un oído normal se determinó que estas están comprendidas entre los 20 Hz y los 20.000 Hz. Por debajo de los 20 Hz hablamos de **infrasonidos** y más allá de 20.000 Hz de **ultrasonidos**.

Un sonido molesto para una persona es percibido como **ruido** y puede aparecer cuando la intensidad de ese sonido es tan elevada que daña el oído

Hablamos de **contaminación ambiental acústica** en una ciudad cuando el sonido intenso, el ruido, tiene gran incidencia en el ambiente. Las maquinarias y los medios de transporte son fuentes de contaminación sonora muy importantes.

Se define como **intensidad sonora** a la energía que transporta una onda en la unidad de tiempo, a través de una superficie unitaria. Se mide en vatios/ m<sup>2</sup> (de *watt*, en honor a James Watt).

En la siguiente tabla se dan algunos valores de intensidades sonoras.

Fuente	Intensidad sonora (Watt/m <sup>2</sup> )
Umbral de la audición	$1 \cdot 10^{-12}$
Radio a un volumen bajo	$1 \cdot 10^{-8}$
Conversación normal	$3 \cdot 10^{-6}$
Tráfico intenso	$1 \cdot 10^{-5}$
Concierto de rock en auditorio cerrado	1
Umbral del dolor	1
Avión a reacción	100

Resolvamos una situación problemática.

La frecuencia sonora más grave que podemos percibir es de 20 Hz.  
¿Cuánto vale la longitud de onda de la onda que se está propagando?

Sabemos que la velocidad de propagación del sonido en el aire es 340 m/s.

Si recordamos que

$$v = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = v / f \quad \rightarrow \quad \lambda = 340 \text{ m/s} / 20 \text{ 1/s}$$
$$\lambda = 17 \text{ m}$$



## ACTIVIDADES

- En las viejas películas “del oeste” aparecen indios que ponen la oreja en el suelo para intentar oír a los caballos de sus perseguidores. ¿Por qué lo hacen?
- Muchos chicos alguna vez han construido un “teléfono” con dos vasos de plástico y un piolín. ¿Cómo funciona este juguete?
- Explique cómo se produce el eco.
- Suponga que quiere producir una onda sonora de 0,75 m de longitud de onda en el aire a 20 °C ¿Cuál sería su frecuencia? Recuerde que el valor de la velocidad del sonido en el aire, a 20° C, es de 340 m/s
- Un perro puede detectar sonidos de hasta 50.000 Hz mientras que un murciélago percibe frecuencias de hasta 100.000 Hz. Determine las longitudes de onda de las ondas sonoras percibidas en cada caso.

## LA ENERGÍA RADIANTE

Hemos visto que las ondas mecánicas propagan energía y el sonido es un ejemplo de ello. Si analizamos lo que ocurre con la luz podemos reconocer que estamos frente a otra forma de propagación de energía: la **energía radiante**.

La luz como ejemplo de propagación de energía radiante será nuestro objeto de estudio y lo primero que nos preguntaremos será ¿cuál es la naturaleza de la luz?

Filósofos de la antigüedad, científicos e investigadores de todos los tiempos se plantearon esta pregunta. Varias fueron las respuestas a lo largo de la historia. Así, algunos filósofos griegos pensaban que la luz estaba compuesta de partículas diminutas capaces de entrar en los ojos para producir la sensación de visión. Sócrates y Platón, entre otros, creían que la posibilidad de ver se debía a que el ojo emitía filamentos que llegaban hasta los objetos.

Muchos pensadores adhirieron al **modelo corpuscular** de la luz. Según este modelo la luz está formada por haces de partículas diferentes de pequeñísimos tamaños que varían según el color de la luz y que viajan a velocidades muy grandes. Isaac Newton (1642-1727) postulaba este modelo.

Christian Huygens (1629-1695), en cambio, postulaba que la luz se propaga como una onda: sería, entonces, la propagación en un medio de vibraciones de distintas frecuencias. Para él, este medio era el "éter" que ocupaba todos los espacios vacíos. A este se lo denominó **modelo ondulatorio**.

Cuando coexisten dos modelos para explicar algún fenómeno, los físicos analizan y confrontan las respuestas que da cada uno de ellos a los interrogantes que el fenómeno propone. Lea con atención en la Unidad 1 los planteos que hacían Aristóteles y Galileo para explicar el movimiento de la caída de los cuerpos.

El mejor entre dos modelos es el que permite interpretar los fenómenos de los que se ocupa teniendo en cuenta los experimentos y empleando la menor cantidad de supuestos (economía de pensamiento).

A continuación, analizaremos algunas propiedades de la luz y veremos cómo las explican cada uno de los modelos presentados.



Christian  
Huygens

## PROPIEDADES DE LA LUZ Y MODELOS EXPLICATIVOS

La luz está formada por **radiaciones energéticas** que nos llegan desde distintas fuentes como el Sol, la llama de una fogata, una lámpara eléctrica, una estufa encendida.

Respecto de la luz emitida por una fuente podemos preguntarnos:

- ¿Cómo se propaga? ¿Hay alguna dirección privilegiada en esa propagación?
- ¿Se necesita un medio material para que se propague?
- ¿La propagación de la luz es rectilínea?
- ¿La luz se puede reflejar?
- ¿Se pueden observar fenómenos de difracción cuando aparece un obstáculo en su camino? ¿Podrá la luz interferir?

Algunos ejemplos concretos pueden ayudarnos a contestar estas preguntas y confrontaremos las respuestas a través de las interpretaciones de los dos modelos.

### 1) Si encendemos una lámpara en una habitación oscura, la luz se propaga en todas direcciones.

- El modelo corpuscular plantea ante este hecho que “las partículas que constituyen la luz son enviadas por la fuente en todas direcciones”.
- El modelo ondulatorio responde que “las radiaciones que se extienden en todas direcciones a través del espacio cumplen con el comportamiento de onda”.

### 2) Una lamparita prendida brilla debajo de una campana de vidrio. Cuando sacamos el aire que está dentro de la campana con una bomba de vacío, la lamparita sigue brillando.

- El modelo corpuscular dice que “las partículas luminosas no tienen dificultad para moverse en el vacío”.
- El modelo ondulatorio propone que “el éter ocupa el espacio vacío y es el que transmite las radiaciones luminosas” (la existencia del éter es una suposición propuesta por Huygens).

Las radiaciones solares llegan hasta nosotros atravesando el espacio interestelar. Hoy en día la idea del éter se ha desechado. La radiación luminosa no necesita sostén material por la naturaleza de la perturbación que se propaga.

### 3) La luz en un medio homogéneo se propaga en línea recta en todas direcciones.

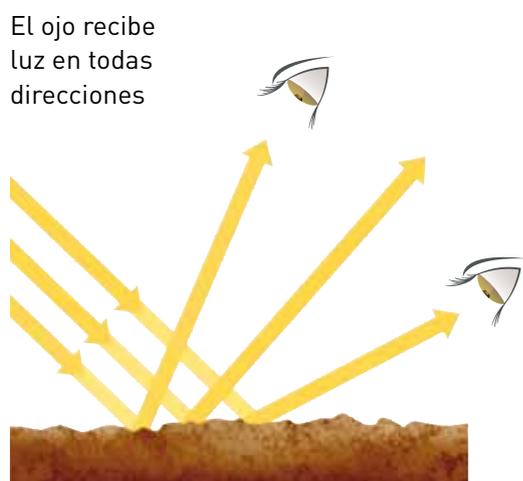
Muchos son los ejemplos que verifican que la propagación de la luz es rectilínea. Por ejemplo, la luz procedente del Sol puede llegar a encandilarnos cuando la recibimos de frente. Nos podemos proteger poniendo nuestras manos en la trayectoria que va del Sol hasta nuestros ojos. También las sombras que se forman cuando un objeto se coloca frente a una fuente luminosa demuestran que la luz se propaga en línea recta.

- El modelo corpuscular propone que “las partículas luminosas se mueven en línea recta mientras no haya ningún obstáculo. Si lo hay, aparecen las sombras confirmando la forma de propagación”. El rayo luminoso se identifica con la trayectoria de las pequeñas partículas que forman la radiación.
- El modelo ondulatorio identifica al rayo luminoso con la dirección de avance de las ondas luminosas. ¿Cómo explica la existencia de sombras nítidas cuando un foco puntual (de poca extensión) ilumina un objeto? No lo explica. Una onda puede bordear los obstáculos, sin embargo este fenómeno no se observa en forma cotidiana con la luz.

### 4) La luz presenta los fenómenos de reflexión y refracción.

Los espejos, los vidrios de las ventanas, las superficies bien pulidas muestran el fenómeno de **reflexión** de la luz. No es tan evidente que las superficies rugosas o irregulares pongan de manifiesto que la luz que llega a ellas es también reflejada. Esto se debe a que en las superficies pulidas como los espejos la reflexión se da en una dirección privilegiada mientras que en los otros tipos de superficies no hay direcciones de privilegio. La luz que se refleja en estos casos permite que veamos los objetos, ya que estos se comportan como si emitieran luz: la Luna refleja la luz del Sol y así podemos verla.

Para la interpretación de la reflexión ninguno de los dos modelos tiene dificultades.



Papel



Espejo

Cuando la luz pasa de un medio a otro su velocidad de propagación cambia y puede aparecer un cambio en la dirección de propagación. A un lápiz colocado dentro de un vaso con agua lo vemos partido. Ese cambio en la velocidad de propagación se llama **refracción**.



La luz que llega a nuestros ojos desde los puntos del lápiz que están en el aire tiene una dirección de propagación diferente de la que procede de los puntos del lápiz que están en el agua.

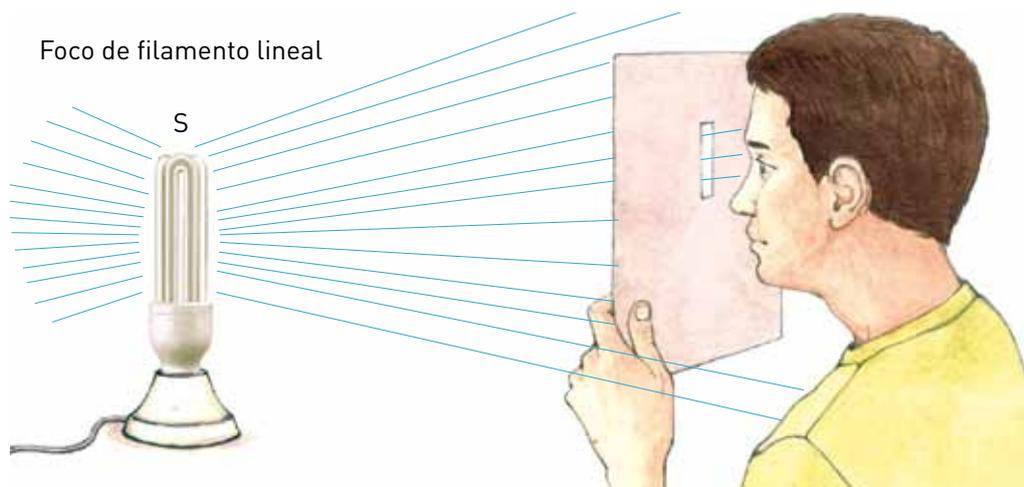
- El modelo corpuscular explica la refracción de la luz proponiendo que al pasarlos corpúsculos de propagarse en el aire a hacerlo en el agua son atraídos por el agua y se aceleran al ingresar en ella. Por lo tanto, su velocidad de propagación aumenta y cambia la dirección del movimiento de los corpúsculos. De acuerdo con este planteo, la velocidad de propagación de la luz en el agua es mayor que en el aire. Experimentalmente se demuestra que la velocidad de propagación de la luz en el aire es mayor que en el agua. Aquí, entonces, el modelo falla.
- El modelo ondulatorio explica la refracción luminosa sin inconvenientes.

## 5) ¿Puede la luz difractarse o interferir?

Decíamos que el fenómeno de difracción no se observa en forma habitual. Pero acá tenemos que recordar lo que mencionamos al estudiar las ondas mecánicas. Cuando una onda llega a un obstáculo se difracta y es más notorio el fenómeno si las dimensiones del obstáculo son del orden de las dimensiones de la longitud de onda  $\lambda$  de la onda que se propaga.

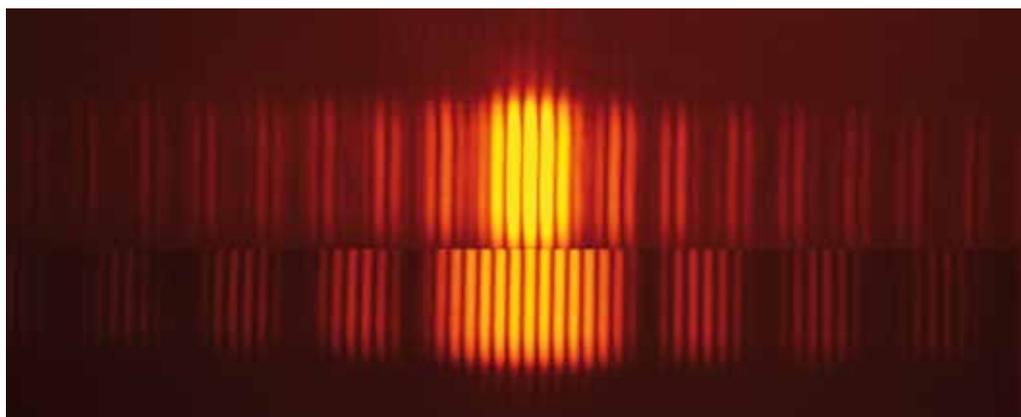
Si medimos la longitud de onda de cualquier radiación luminosa nos encontramos con valores muy pequeños (entre  $4 \cdot 10^{-7}$  m y  $7 \cdot 10^{-7}$  m para la luz visible) de manera que las dimensiones de la ranura que debemos utilizar para observar la difracción deben ser también pequeñas. Experimentos cuidadosos con equipos adecuados muestran con total claridad que **la luz se difracta**.

Si se construye una rendija cortando en un cartón una ranura con una hoja de afeitar, puede observarse a través de ella la luz procedente de un foco de filamento lineal.



Difracción de la luz.

Como se observa en la imagen con el color rojo, por ejemplo, vemos una franja central ancha y brillante rodeada de franjas rojas y oscuras cada vez menos intensas.



Interferencia.

Es indudable que el ensanchamiento de la imagen se debe a la difracción que experimenta la luz que atraviesa la ranura. Las zonas iluminadas y las oscuras nos muestran que los rayos que atraviesan la ranura por distintos puntos **interfieren** dando lugar a zonas de interferencia constructivas, y zonas de interferencia destructivas.

Luz + Luz = Luz más intensa

Luz + Luz = Oscuridad

- El modelo ondulatorio explica estos resultados proponiendo que “la luz se comporta como una onda ya que puede difractarse y puede interferir”.
- El modelo corpuscular no puede justificar este fenómeno.

Thomas Young (1773-1829) y Agustín Fresnel (1788-1827) realizaron, cada uno por su lado, los experimentos que mostraron por primera vez la difracción y la interferencia de la luz.



## ACTIVIDADES

14. Junte el dedo índice y mayor de una de sus manos y observe una lámpara encendida a través de la pequeña separación entre ellos. Trate de achicar esa separación (rendija), pero sin que se obstruya totalmente la visión. Aparecen líneas claras y oscuras en la zona que debíamos ver iluminada. Al aumentar el tamaño de la separación, estas líneas desaparecen. Realice la observación y explique su resultado.
15. Mire en una noche oscura por una ventana el foco de luz que ilumina la calle. Haga la observación a través de una cortina de tela (de trama no muy compacta). Puede también observar el foco de luz entrecerrando los ojos. Describa lo que ve y explíquelo.
16. Mencione los dos modelos que aparecen en la segunda mitad del siglo XVII sobre la naturaleza de la luz. Explique sus diferencias.
17. ¿De dónde proviene la luz?
18. Elabore una lista de los fenómenos que aparecen cuando la luz se propaga.
19. Explique en qué consiste el fenómeno de reflexión de la luz utilizando la teoría ondulatoria.
20. Proponga un ejemplo que demuestre que la luz se propaga en línea recta.
21. ¿Qué diferencia hay entre un objeto luminoso y un objeto iluminado? ¿Ambos emiten luz?

## LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA LUZ

La luz se propaga con una velocidad tan grande que durante mucho tiempo se habló de propagación instantánea, es decir, de rapidez infinita. A fines del siglo XVII, Galileo intentó medir el tiempo que tardaba un rayo de luz en llegar desde una fuente luminosa hasta un espejo lejano y en regresar, pero el intervalo de tiempo era tan corto que no pudo obtener ninguna medición. En 1675, el astrónomo danés Ole Rømer logró demostrar que la luz se propaga con una velocidad precisa. Logró medirla utilizando métodos astronómicos. Hoy se conoce el valor de la velocidad de la luz en el vacío, con gran precisión.

$$V = 300.000 \text{ km/s}$$

En cualquier medio material, como agua o vidrio, la luz se propaga con una velocidad menor que en el vacío.



### ACTIVIDADES

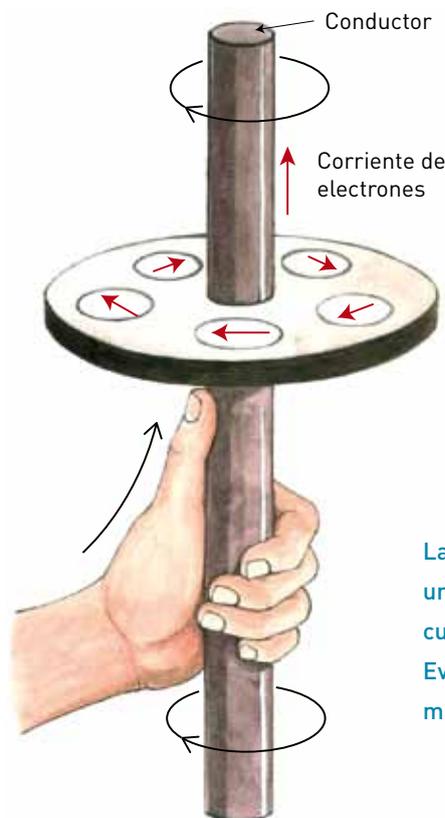
22. ¿Qué distancia en km recorrería en un año un haz ininterrumpido de luz?
23. Si se modifica la frecuencia luminosa de esa radiación ¿cambia la distancia recorrida en el mismo tiempo?

## LA LUZ COMO ONDA ELECTROMAGNÉTICA

La luz presenta todos los fenómenos característicos de las ondas. Pero ¿qué clase de onda es? ¿Cuál es la perturbación que se propaga?

A fines del siglo XIX se profundizaron los estudios de los fenómenos eléctricos y magnéticos y esto condujo a la búsqueda de relaciones que vincularan ambos fenómenos. A través de esta búsqueda se obtuvieron resultados experimentales muy importantes. Recordemos algunos de ellos.

**Efecto Ørsted.** Muestra la aparición de un campo magnético cuando por un cable conductor circula una corriente. Cuando esta corriente es variable, el campo magnético que aparece vinculado a ella también lo es.

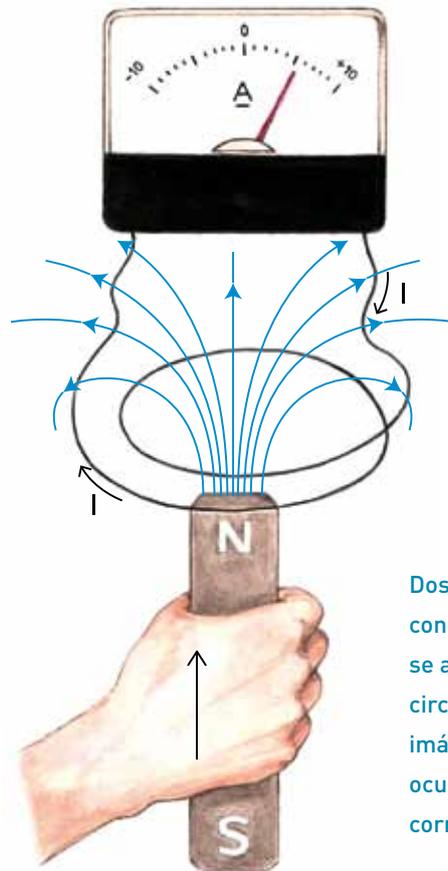


Las brújulas colocadas próximas a un conductor cambian de orientación cuando por este circula corriente. Evidencian la existencia de un campo magnético que rodea al conductor.

James Maxwell (1831-1879) interpreta este resultado diciendo que, aún cuando no exista un cable conductor, si en la región hay un campo eléctrico variable aparecerá un campo magnético también variable. Plantea la siguiente hipótesis: **Todo campo eléctrico variable genera en sus proximidades un campo magnético también variable.**

**Efecto Faraday.** Un campo magnético variable que atraviesa una o varias espiras conductoras induce una corriente en ellas.

Maxwell considera que las espiras son accesorias y sólo ponen de manifiesto la existencia de un campo eléctrico en la zona cuando hay un campo magnético variable. Formula entonces la siguiente hipótesis: **Todo campo magnético variable genera un campo eléctrico también variable.**



Dos espiras conductoras están conectadas a un amperímetro. Cuando se acerca un imán, se detecta una circulación de corriente mientras el imán está en movimiento. Lo mismo ocurre cuando se aleja el imán: la corriente inducida cambia de sentido.

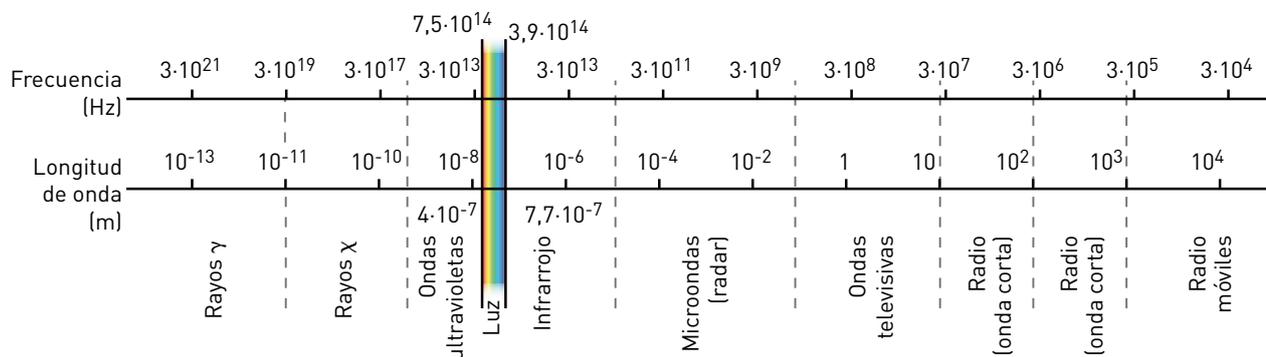
Para Maxwell este enlace eléctrico y magnético provoca la propagación de la perturbación electromagnética en el espacio. Las cargas aceleradas emiten una radiación. El campo eléctrico variable genera un campo magnético también variable y este genera ahora un campo eléctrico también variable. Así ambos campos se regeneran mutuamente mientras se propagan. Al calcular en forma teórica la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas, Maxwell encontró que su valor coincidía con el valor de la velocidad de la luz en el espacio libre. Entonces afirmó que **la luz debe ser considerada como una onda electromagnética**.



**Henrich Hertz, algunos años después del planteo de Maxwell, logró generar y detectar ondas de indudable origen electromagnético**

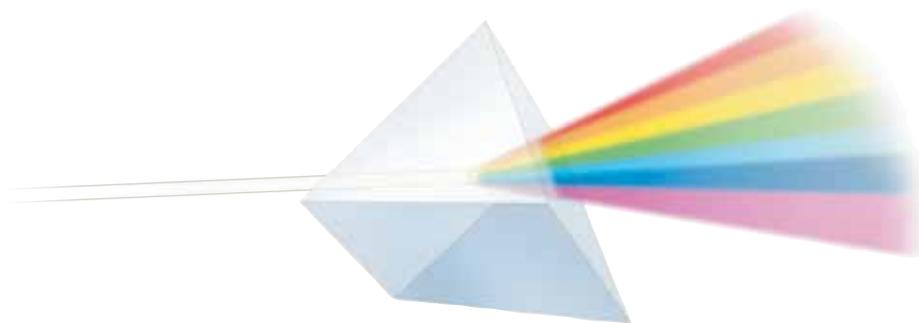
Los campos eléctricos y magnéticos que conforman la onda no necesitan sostén material para propagarse, ya que pueden hacerlo en el vacío. Distintas frecuencias caracterizan a estas ondas y, para cada franja de frecuencias, existe una clasificación particular: ondas de radio, ondas de televisión, rayos X, ondas de radar, rayos infrarrojos o ultravioletas, láser. Todas tienen en común su naturaleza: son ondas electromagnéticas.

La luz visible abarca una franja muy pequeña de lo que se conoce como **espectro electromagnético**.



### Espectro electromagnético.

Las frecuencias que corresponden a la luz visible tienen valores entre  $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz y  $4,3 \cdot 10^{14}$  Hz. La luz que viene del Sol, luz blanca, es una mezcla de radiaciones de diferentes colores. Si un rayo de luz que proviene del Sol atraviesa un prisma de vidrio, aparecen rayos de distintos colores. A cada color (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta) le corresponde una frecuencia diferente. Al rojo le corresponden  $4,3 \cdot 10^{14}$  Hz y al violeta,  $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz. La mezcla de todas esas radiaciones que se propagan por el espacio a la misma velocidad forma la luz blanca.



Descomposición de la luz blanca al pasar por un prisma.

En síntesis:

La luz se comporta como una onda electromagnética.

Cualquier onda electromagnética se origina por la radiación de energía de una carga acelerada.

Un campo eléctrico variable y un campo magnético también variable se propagan íntimamente enlazados. Esos campos oscilan a través del tiempo.

La onda electromagnética generada no necesita ningún medio material para propagarse.

Todas las ondas electromagnéticas se propagan con la misma rapidez.

En la actualidad puede considerarse a la luz como una onda electromagnética o como partículas llamadas **fotones**. La detección de fenómenos como el **efecto fotoeléctrico**, que consiste en la liberación de electrones de un metal sobre el que incide luz de determinada frecuencia, conduce a establecer la dualidad onda-partícula para la luz.



## ACTIVIDAD

24. Resuelva.

- ¿Es correcto afirmar que una onda de radio es una onda luminosa de baja frecuencia?
- ¿Cuál es la fuente de una onda electromagnética?
- ¿Se difractan las ondas luminosas como lo hacen las ondas sonoras?
- Explique la conclusión a la que llega Maxwell sobre el efecto Ørsted.
- ¿Cómo interpreta Maxwell el efecto Faraday?
- ¿Qué es lo que se propaga en una onda luminosa?
- ¿Cuál de las radiaciones de la luz visible es más energética, la de color rojo o la de color violeta?



## ACTIVIDAD INTEGRADORA

> Resuelva el siguiente problema:

Un rayo de luz roja de 41.014 Hz de frecuencia se propaga por el aire y penetra en un prisma de vidrio. Su frecuencia no cambia, pero ahora la velocidad de la luz en el vidrio es de 2.108 m/s.

- ¿Cuánto vale la longitud de onda de la luz roja mientras se propaga por ese prisma? ¿En cuánto cambió? (La velocidad de la luz en el aire es prácticamente igual a la velocidad en el vacío.)
- Determine si esta afirmación es correcta: la energía que transmite esa radiación es mayor en el aire que en el prisma de vidrio porque la velocidad de propagación en el aire es mayor que en el vidrio. Justifique su respuesta.



## UNIDAD 5

### La Física del siglo XXI

“Cuando se pisa un terreno realmente nuevo, puede suceder que no solamente haya que aceptar nuevos contenidos, sino que sea preciso, además, cambiar la estructura de nuestro pensar”.

Werner Heisenberg

(Físico alemán 1901-1976)

## INTRODUCCIÓN

Es imposible negar el desarrollo de la ciencia y la tecnología en los últimos cien años y su repercusión sobre la sociedad en general. Su influencia abarca ámbitos tan distintos como la política, la economía, la religión, la ética y la filosofía, por mencionar algunos. En particular, la física ha revolucionado al mundo mediante nuevas teorías y descubrimientos que permiten explicar y predecir fenómenos a escalas tan pequeñas como el átomo y tan grandes como las galaxias.

En la presente Unidad abordaremos las aplicaciones actuales de la física en varios campos: el económico, el biomédico y el militar, entre otros. En todos los casos, estas aplicaciones se relacionarán con el desarrollo científico de nuestro país.

Las preguntas que siguen le servirán de guía para orientarse en el desarrollo de esta unidad:

- ¿Cuáles son los campos de trabajo de la física del siglo XXI?
- ¿Qué hechos y descubrimientos generaron tal desarrollo de la física?
- ¿En qué hechos y fenómenos cotidianos observamos la presencia de la física moderna?
- ¿Cuál es la situación actual de la física en nuestro país?

## EL SURGIMIENTO DE LA FÍSICA MODERNA

La Física, como todos los campos del conocimiento humano, ha cambiado a lo largo del tiempo. Hemos visto cómo se consolidaron los conceptos de la mecánica, desde su origen en la antigua Grecia hasta el siglo XVII con los principios básicos de la dinámica de Newton. También analizamos cómo se fue construyendo e instalando en la sociedad la termodinámica y el concepto de energía, de gran aplicación actual.

Paralelamente, también se desarrollaron la óptica, la electricidad y el magnetismo. Entre 1861 y 1873 Maxwell realizó una integración de la electricidad y el magnetismo, campos de estudio que hasta ese momento se consideraban desvinculados. En su *Tratado de Electricidad y Magnetismo* predice en forma teórica la existencia de las ondas electromagnéticas. Veinte años más tarde serán corroboradas experimentalmente por Hertz.

Así, a lo largo de dos siglos se fue construyendo un edificio importante sostenido por dos grandes pilares, que fueron la mecánica newtoniana y la teoría electromagnética.

Pero nuevas situaciones, como el surgimiento del concepto de electrón, el descubrimiento de los rayos X y de la radiactividad, entre otros, dieron origen a otra gran revolución científica que tuvo lugar a partir de 1900. Estos hechos, que no pudieron ser explicados por la física clásica, pusieron en cuestionamiento los conceptos físicos que se manejaban hasta ese momento. Se produjo entonces una ruptura con la física clásica: la física moderna “ingresó” y abordó el estudio tanto a nivel macroscópico como a nivel microscópico de la materia.

Las dos grandes teorías que nacen y se desarrollan en el siglo XX son la teoría de la relatividad de Einstein y la teoría cuántica.

### El físico en el mundo actual

A lo largo del tiempo, se ha generado una visión deformada de la ciencia. Muchas veces se piensa en el físico como alguien que desarrolla investigación dentro de un laboratorio o en el mundo académico, con anteojos, guardapolvos y el pelo abultado y desprolijo. Indudablemente, la literatura de ciencia ficción y la televisión han influenciado profundamente esta visión irreal. En ciertos casos, algunos científicos también han ayudado a formar esta imagen.

Pocos se imaginan que los físicos pueden desarrollar su profesión en ámbitos tan variados como empresas, consultorías, industrias y hospitales, en los que trabajan en múltiples aspectos de la física y sus aplicaciones.

En lo que se refiere al tipo de trabajos habituales en el mundo empresarial, las tareas que un físico desempeña son de índole muy diversa. Por un lado, están los trabajos de gestión en departamentos de ventas, de marketing o de gestión de proyectos. En estas actividades, es fundamental el conocimiento técnico del producto o de los servicios ofertados por la empresa en cuestión. Por otro lado, están los trabajos de tipo técnico como el control de calidad, el diseño de instalaciones, la higiene y seguridad, entre otros.

## LA FÍSICA EN EL ÁREA BIOMÉDICA

Una de las áreas en las que más se ha desarrollado la física del último siglo es, indudablemente, la **medicina**. Principios y leyes de la física se encuentran aplicados en numerosos equipos destinados al diagnóstico y al tratamiento. Sin embargo, no es necesario pensar en complicados equipos de uso hospitalario para encontrar aplicaciones de la física.

Un plano inclinado, un sistema de poleas o una palanca se observan en muchos desarrollos del área médica. La ley de la palanca se encuentra detrás del diseño de una simple tijera de cirugía y de los fórceps utilizados en los partos. Las poleas se utilizan para mantener en alto la pierna enyesada de un paciente y los planos inclinados se ubican para facilitar su transporte en una silla de ruedas de un nivel a otro del hospital.

También está el trabajo de los físicos detrás de aparatos que miden y producen señales eléctricas, por ejemplo, para el estudio de la actividad cerebral. Esta actividad genera microcorrientes muy débiles. Para captar estas señales se emplean varios electrodos en un procedimiento, conocido como **electroencefalografía**, que permite detectar patologías como la epilepsia o los problemas para conciliar el sueño.

Así como pueden detectarse señales eléctricas provenientes del organismo, a veces es necesario entregarle corriente eléctrica a algún músculo para que este funcione y se contraiga. Por esta razón se ha inventado el **marcapasos**, que consiste en un pequeño dispositivo implantable que funciona entregando pulsos eléctricos al músculo cardíaco cuando este no puede generarlos por sí mismo. También puede ser necesario entregar una gran cantidad de energía (cientos de julios) al corazón cuando deja de funcionar. Para ello se utiliza el llamado **resucitador** o **cardiodesfibrilador externo**, muy conocido por su aplicación en emergencias médicas.

### Los rayos X

Otra de las grandes aplicaciones de la física en la medicina es el estudio de lesiones a partir de los rayos X. Desde su descubrimiento en 1895 por Wilhelm Conrad Röntgen, se emplean para el diagnóstico de diversas patologías que pueden ser detectadas sin necesidad de operar al paciente. Estos rayos se generan en una ampolla de vidrio al vacío (en realidad a muy baja presión) en cuyo interior se produce una descarga eléctrica generada por un gran voltaje de más de 10.000 V.



Tubo de rayos X.

En las últimas décadas se han desarrollado también otros métodos radiológicos como la **mamografía**, empleada fundamentalmente para la detección precoz del cáncer de mama, o la **tomografía computarizada**, para obtener secciones (cortes transversales) del cuerpo humano a distintas alturas.



Dichos cortes se obtienen a partir de un tubo de rayos X que gira alrededor del paciente.

Los rayos X son muy utilizados para el diagnóstico. Sin embargo es un tipo de radiación que puede producir daños celulares y, por esta razón, se recomienda no realizar en exceso este tipo de estudios y avisar en caso de embarazo.

**Tomógrafo de rayos X.**

## Medicina nuclear y radioterapia

En la **medicina nuclear** se utilizan materiales radiactivos para diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Los primeros estudios radiobiológicos en nuestro país fueron realizados en el año 1926 en el Instituto de Medicina Experimental, actual Instituto A. H. Roffo, que depende de la Universidad de Buenos Aires.

En la desintegración de los materiales radiactivos, los núcleos atómicos emiten partículas y radiación de alta energía como los **rayos gamma**. A continuación presentamos algunas características de las diferentes emisiones nucleares:

Partículas $\alpha$	Partículas $\beta$	Rayos gamma
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen la masa de un núcleo de Helio <math>\text{He}_2^4</math>.</li> <li>• Tienen carga eléctrica positiva (+2).</li> <li>• Tienen comparativamente masa muy grande y poca penetrabilidad, las detiene una hoja de papel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen masa y carga igual a la de los electrones.</li> <li>• Con velocidades cercanas a la de la luz.</li> <li>• Tienen carga eléctrica (-1).</li> <li>• Son más penetrantes que los rayos <math>\alpha</math>, se detienen frente a una lámina de aluminio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De elevada energía, comparables o superiores a la de los rayos X.</li> <li>• Sin carga eléctrica.</li> <li>• Son altamente penetrantes, se detienen frente a una lámina gruesa de plomo.</li> </ul>

De las tres emisiones presentadas en el cuadro, la radiación gamma es la más penetrante y la menos ionizante. Por esta razón se la utiliza en el diagnóstico funcional del organismo. Para los estudios se inyecta al paciente un **radiofármaco**, que es una sustancia química que es absorbida por ciertas partes del organismo y emite radiación.

Se coloca al paciente frente al conjunto de detectores de la **cámara gamma**. Luego se recibe la radiación y se obtiene la imagen del órgano. La sustancia radiactiva es eliminada naturalmente.

Al comienzo se obtenían imágenes planas (**centellografía**) que permitían al médico estudiar la biodistribución del radiofármaco. Hoy en día existen otras aplicaciones, como la **tomografía computarizada de emisión monofotónica** (SPECT, del inglés *single photon emission computed tomography*), que permiten obtener imágenes en tres dimensiones de órganos como el hígado, los pulmones, el cerebro o hasta del corazón, aunque se encuentre en constante movimiento.

La **radioterapia** es una técnica que utiliza las radiaciones nucleares para distintos tipos de cáncer. El haz de radiación gamma se dirige específicamente al tumor para eliminarlo, con gran cantidad de resultados favorables.

Los efectos de la radiactividad en los organismos biológicos dependen fuertemente de las dosis administradas. Excesos de radiación pueden ocasionar la ruptura de enlaces en moléculas, alteraciones en su estructura, en su funcionamiento normal y alteraciones en el ADN (información genética). Superar los límites estipulados puede producir la muerte de las células o la formación de nuevas células defectuosas. De allí que en este campo sea fundamental la presencia de un físico-médico que realice el cálculo de la dosis que se administrará a cada paciente en particular. En nuestro país, la física médica es un área todavía descuidada. Sin embargo, en los últimos años han surgido carreras de grado y de posgrado para formar especialistas en este campo.

## Otros dispositivos de diagnóstico por imágenes



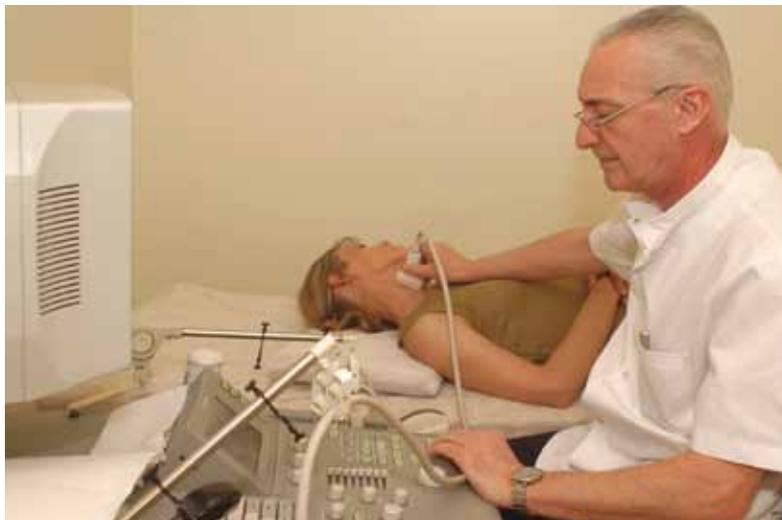
Otro de los sistemas formadores de imágenes muy utilizados en la medicina es el **ecógrafo**. Este aparato consta de un emisor de ultrasonido cuya señal sonora emitida no es audible. Al ingresar al organismo, es reflejada internamente por algún órgano. La imagen se forma a partir de la señal recibida (eco). Los ecógrafos actuales también permiten obtener imágenes en tres dimensiones.

A diferencia de los rayos X y gamma, este dispositivo puede ser utilizado durante el embarazo. Además, si bien la imagen no es muy nítida, permite realizar mediciones con total facilidad y en tiempo real. Los ecógrafos de última generación posibilitan, además, medir la velocidad de la sangre cuando viaja a través de una arteria, mediante el denominado **efecto Doppler**.

Ecógrafo.



Ecografías.



Profesional realizando un ecodoppler de vasos del cuello.

Finalmente, en la actualidad se utiliza la **resonancia magnética nuclear** (RMN), un método para producir imágenes muy detalladas de los órganos y tejidos del cuerpo sin la necesidad de usar rayos X u otras radiaciones más intensas. Los equipos de RMN utilizan un poderoso campo magnético y ondas de radio que inciden sobre la zona del cuerpo a estudiar. Estas ondas, luego de atravesar el campo magnético, se detectan y se envían a una computadora para crear las imágenes que muestran si existe alguna lesión, enfermedad (aún en estado inicial) o condición anormal.



## ACTIVIDADES

1. A partir de los dispositivos analizados en este apartado, realice un cuadro de doble entrada indicando el nombre del aparato, sus fundamentos físicos y sus aplicaciones. Si es necesario, busque información complementaria en otras fuentes.
2. Averigüe cuáles de estos aparatos están en el hospital más cercano a su domicilio.

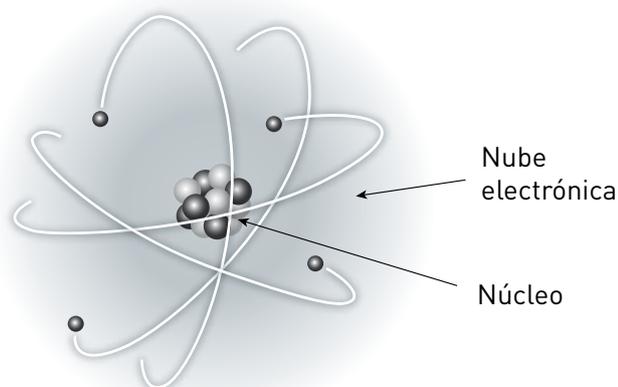
## LA ENERGÍA NUCLEAR

Como hemos visto, los científicos crean modelos para explicar ciertos fenómenos. El avance vertiginoso de la física durante el siglo XX (cuyas mentes más representativas fueron los esposos Curie, Rutherford, Einstein, Bohr, Schrödinger, Heisenberg, Planck, De Broglie, entre otros) permitió generar modelos explicativos sobre la estructura de la materia y del átomo.

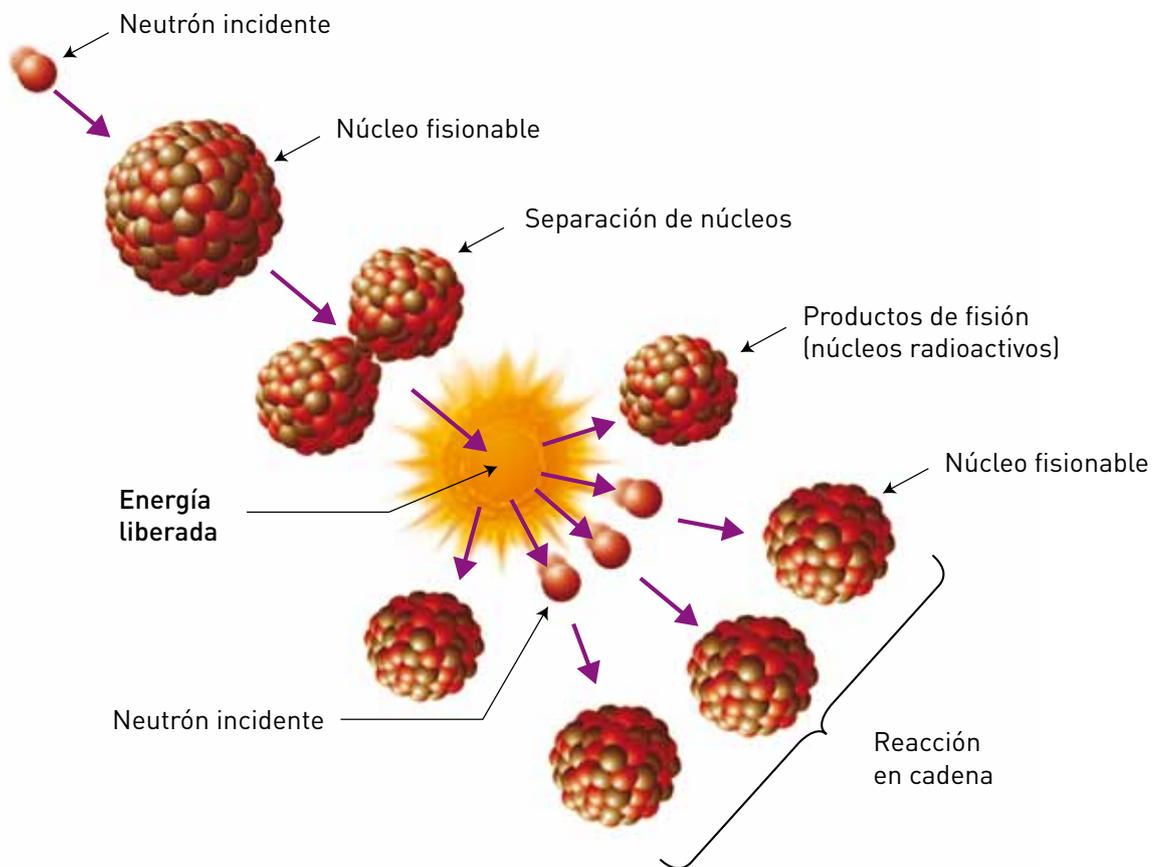
Como vimos en la Unidad 3, el **átomo** está formado por un **núcleo** y por **electrones**, de carga eléctrica negativa, que se mueven alrededor de él. A su vez, el núcleo está compuesto por **protones**, de carga eléctrica positiva, y por **neutrones**, que no tienen carga eléctrica.

Los **nucleones** (protones y neutrones) pueden mantenerse en el interior de una región tan pequeña como el núcleo gracias a fuerzas de atracción muy fuertes, ya que deben vencer las fuerzas de repulsión de los protones que son positivos (las cargas de igual signo se repelen).

Los nucleones, al desprenderse de esas fuerzas tan intensas que se ejercen, liberan energía que se transforma mayoritariamente en calor. Esta liberación de energía se produce de dos formas: una por fisión (ruptura) de ciertos núcleos y otra por fusión (unión) de otros.



- **Fisión:** existen átomos con un número elevado de protones y neutrones, denominados **elementos pesados**, que al ser bombardeados con un neutrón se dividen (se fisionan) en otros núcleos y en neutrones. Estos neutrones que salen del núcleo fisionado chocan con núcleos vecinos repitiendo el mismo fenómeno de fisión del núcleo. Este proceso se llama **reacción en cadena:** en cada reacción se transforma energía nuclear en calor y, al producirse una cadena de reacciones, se suman las energías y se puede obtener una cantidad importante de energía.



- **Fusión:** es una reacción en la que se unen dos núcleos livianos (que tienen pocos protones y neutrones). Por ejemplo, dos núcleos de hidrógeno se unen para formar uno de helio. En esa unión se libera una cantidad importante de energía. Este tipo de reacciones son las que se producen en las estrellas.



## ACTIVIDADES

3. La energía nuclear ha sido muy cuestionada a partir del accidente de Chernobyl, ocurrido en la ex Unión Soviética, el 26 de abril de 1986. ¿Cuáles fueron las consecuencias de esta catástrofe en la sociedad rusa y qué debates se generaron a escala mundial? Averigüe cómo ocurrió este accidente y cómo incidieron los efectos de la radiación sobre la población, el ambiente, la sociedad, la economía del país, etc.

## ASTROFÍSICA

La astrofísica es un campo de investigación y desarrollo donde trabaja una importante cantidad de físicos de todo el mundo. Se realizan estudios de las formas, dimensiones y características de los astros, así como también de la constitución, evolución y condiciones físicas de su funcionamiento y dinámica.

Una tarea fundamental de los científicos es el desarrollo de modelos explicativos y predictivos que den cuenta de los fenómenos observados. Si bien la astrofísica no busca necesariamente resolver problemas prácticos de hoy, mañana o pasado mañana, muchas de las investigaciones son de importancia práctica fundamental para nuestra sociedad. Tal es el caso del estudio de los ciclos solares y de la influencia en las telecomunicaciones de las partículas que conforman el llamado **viento solar**.

Lo mismo sucede con las millonarias inversiones en telescopios y radiotelescopios, que parecen ser un gasto superfluo. Pero, desde otro punto de vista, estos dispositivos son útiles para conocer y predecir trayectorias de meteoritos y su posibilidad de impacto contra nuestro planeta.



Radiotelescopio de Mount Pleasant, Australia.

## El origen del Universo

Los temas de astrofísica son ampliamente tratados en distintos medios de comunicación (revistas, programas de televisión, etc.) en todo el mundo. Entre los más divulgados, encontramos los referidos a las teorías y modelos que intentan describir y explicar el origen y la estructura del universo en el que vivimos.

La teoría del *big bang* trata sobre el origen y la formación del universo y es la más aceptada actualmente. Entre sus hipótesis se afirma que el universo se encuentra en expansión permanente, que ha cambiado con el tiempo y que en el pasado debió haber tenido un tamaño mínimo.

Sostiene, además, que se generó hace unos 15.000 millones de años, a partir de una gran explosión (del inglés, *big: gran, grande; bang: explosión*). Por qué sucedió es un misterio. Toda la materia y la energía presentes actualmente en el universo estaban concentradas con una densidad y temperatura muy elevadas, quizás en un punto matemático sin ninguna dimensión. No es que toda la materia y la energía del universo estuvieran apretadas en un pequeño rincón del universo actual, sino que el universo entero ocupaba un volumen muy pequeño.

Como resultado de la continua expansión del universo, su densidad y su temperatura han ido disminuyendo. Un segundo después de la explosión inicial, la temperatura descendió a unos diez mil millones de grados. Unos cien segundos después, la temperatura sería de unos mil millones de grados. Entonces comenzaron a formarse los núcleos de los átomos más simples: hidrógeno y helio. Un millón de años después, a unos pocos miles de grados, los electrones y los núcleos constituyeron los primeros átomos de hidrógeno y en menor medida, de helio.

El universo primitivo estaba lleno de radiación, hidrógeno y helio. Empezaron a concentrarse los átomos en zonas o **nubes de gas**. Estas zonas gaseosas atraían gravitatoriamente a otras, desplazándose y girando lentamente, haciéndose cada

vez más brillantes. Finalmente, se formaron cientos de miles de millones de puntos brillantes. Surgieron así las mayores estructuras del universo: las galaxias.

Unos 10.000 millones de años después, en algún remoto lugar, estaba naciendo una nueva estrella: nuestro Sol.



“Guardería” estelar, zona del espacio en la que se observa la formación de nuevas estrellas. Foto tomada por el telescopio espacial Hubble, NASA (*National Aeronautics and Space Administration*; en español: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio).

## ¿Hay fuego en el Sol?

La vida en nuestro planeta está íntimamente ligada al Sol. El día y la noche, las estaciones del año, la fotosíntesis, las lluvias, las brisas marinas; todos estos fenómenos tienen su origen en la energía liberada por el Sol.

Pero... ¿cómo se producen la luz y el calor en el Sol? Es una pregunta que el hombre se hizo desde la antigüedad. La astrofísica nos orienta ante una pregunta que parece tan simple. Pero primero sería interesante que usted intente formular su propia explicación al respecto.

A continuación, le presentamos algunos extractos del libro *Así funcionaba el Sol*, del físico argentino, Horacio Tignanelli (1998) donde se expresan varias hipótesis diferentes para explicar cómo se produce el calor y la luz en esta estrella:



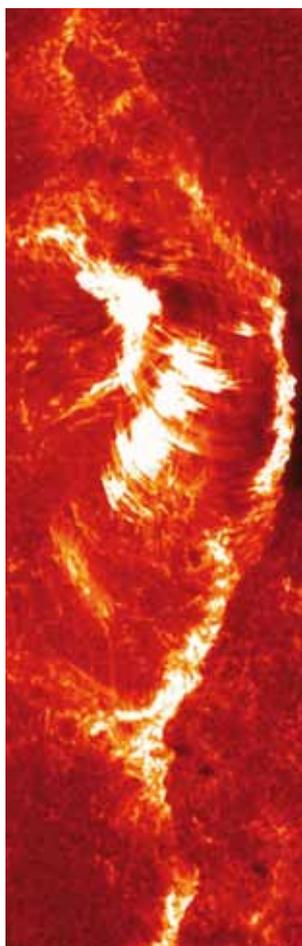
Tanto el Sol como el fuego iluminan y dan calor y, uno por su lejanía y otro por su misma esencia, son intangibles. Ambos tienen colores semejantes y una existencia efímera: la llama acaba cuando ha consumido el leño, el Sol aparece y desaparece a lo largo de un día. La vinculación del Sol con el fuego puede considerarse también como un triunfo del pensamiento de los hombres. En los albores de la historia, decir que el Sol era de fuego constituyó un avance importante para tratar de explicar la esencia de los objetos del cielo [...]

Durante aquel siglo XIX, en cualquier escuela, y hasta en la mismísima Universidad, los profesores de negra toga enseñaban que el Sol generaba su luz y su calor quemando carbón en su ardiente interior.

Aquellos fueron tiempos de fogatas, lámparas de llama y velas; por otra parte, la combustión del carbón constituía la fuente de energía más usual entre las producidas artificialmente por los hombres [...]. Para que el Sol funcionara a fuego, en el Sol debería existir una reserva gigantesca de carbón y oxígeno, además de bastante lugar para el anhídrido carbónico que ambos generarían en la combustión [...]. Para entonces, los físicos habían podido estimar cuánta energía llegaba del Sol a la Tierra [...]. Teniendo en cuenta las dimensiones solares, los cálculos señalaban que un Sol funcionando a fuego nos iluminaría sólo durante unos 1.500 años, ya que habría Sol hasta que acabara su carbón interior [...]

Evidentemente, un Sol de fuego no hubiese durado lo suficiente como para acompañar la historia de nuestra humanidad [...]

El tipo de materiales que se quemaba en el Sol, fue variando a medida que el hombre iba descubriendo distintas formas de producir fuego. De esa forma, hubo un Sol donde ardían los leños y luego un Sol de carbón encendido; luego hubo soles de petróleo y de gas, sustancias descubiertas a posteriori [...]. Tal vez no se ha divulgado lo suficiente, pero la ciencia alcanzó a dar una respuesta diferente y más probable sobre la manera en que el Sol genera su energía. Llegar a entender el funcionamiento solar le demandó al hombre casi cien años de investigaciones y un número más grande de cambios conceptuales en su comprensión de los fenómenos de la naturaleza [...]



En la actualidad, para la ciencia, la producción de la energía solar se debe a reacciones nucleares en su interior, especialmente fisión nuclear. A temperaturas elevadas (unos 15 millones de grados) y a una presión altísima, se liberan protones (núcleos de hidrógeno), que se “funden” en grupos de cuatro para formar partículas alfa (núcleos de helio). Cada partícula alfa pesa menos que los cuatro protones juntos. La diferencia se expulsa hacia la superficie del Sol en forma de energía.



Si desea saber más sobre las explicaciones científicas actuales respecto de la producción de energía en el Sol, puede consultar los siguientes sitios:

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/106/htm/sec\\_12.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/106/htm/sec_12.htm)

<http://www.iac.es/gabinete/difus/ciencia/sol tierra/8.htm>



## ACTIVIDADES

4. Explique cuál es la idea principal del texto. Enumere las hipótesis dadas en cada momento respecto del funcionamiento del Sol.

## La astrofísica y la ciencia ficción

El universo es uno de los campos favoritos para los directores de películas, en especial para los amantes del cine de ciencia ficción. Sin embargo, en este tipo de películas, muchas veces se presentan situaciones que no concuerdan con lo que podemos constatar científicamente. A menudo se oyen ruidosas explosiones en medio del espacio exterior siendo que esto es imposible puesto que el sonido necesita un material para transmitirse y en el espacio exterior hay vacío (casi total).

También nos muestran haces de luz láser, cuando sólo podríamos verlos al entrar en contacto con algún material (por ello en las discos se esparce humo para ver los haces). Como estas, en las películas podemos encontrar infinidad de otras situaciones que resultan imposibles físicamente.



## ACTIVIDAD

5. El siguiente link corresponde a un sitio que contiene algunos *trailers* (extracto con imágenes y banda sonora) de películas clásicas de ciencia ficción:

<https://www.bbvaopenmind.com/>

[la-buena-ciencia-tambien-tiene-hueco-en-el-cine/](#)

Allí también encontrarán explicaciones acerca de cuáles de los temas que se tratan en estas películas tienen rigor científico, a diferencia de muchas otras que reinventan las leyes de la física, la química o la biología.

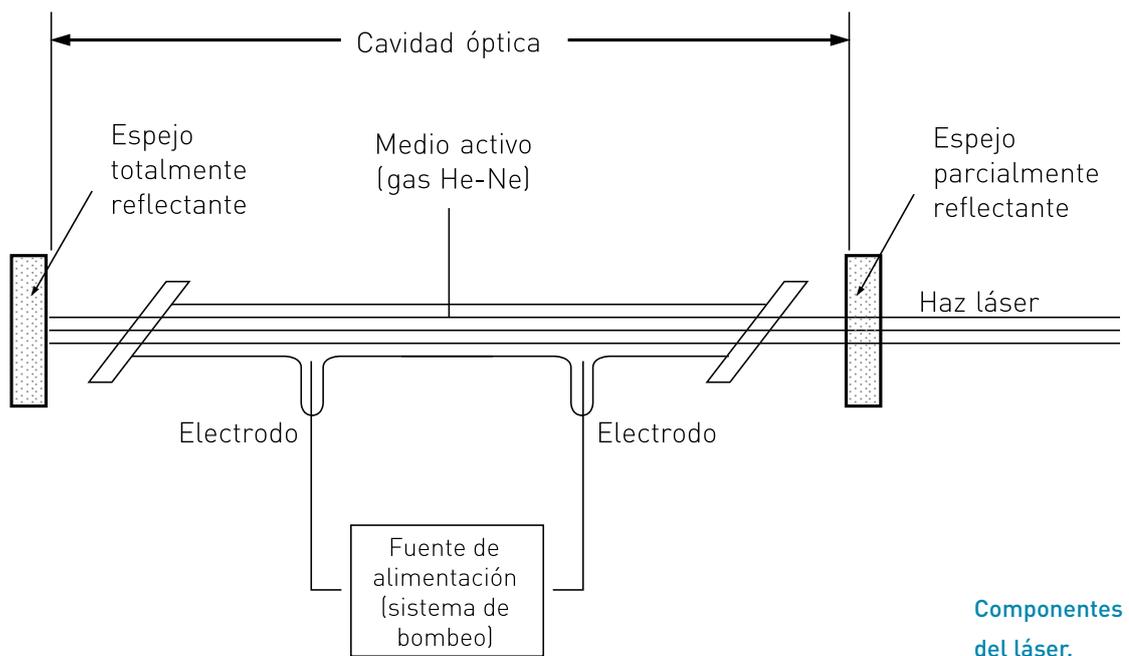
Visualice las muestras de *Interstellar* (2014); *2001, Una odisea del espacio* (1968); *Gravity* (2013); *Primer* (2004), *Gattaca* (1997); *Contact* (1997) y *La amenaza de Andrómeda* (1974) y haga una tabla con el nombre de las películas y los conceptos que cada una trata con rigor científico.

## EL LÁSER, UNA MARCA DEL SIGLO XX

Uno de los descubrimientos más importantes del siglo XX, sin duda, fue el de la luz láser. Theodore Maiman lo consiguió el 9 de mayo de 1960, a partir de una barra de rubí sintético de 2 cm de longitud y 1 cm de diámetro. Desde entonces, se obtiene el "efecto láser" mediante una gran cantidad de materiales.

El **láser** es un dispositivo para obtener radiación con características muy especiales. Consta de tres componentes básicos:

- Un material que puede ser sólido, líquido o gaseoso.
- Una cavidad dentro de la cual se halla el material. Tiene un par de espejos en sus extremos que permite que la luz láser oscile varias veces para amplificarse antes de salir.
- Un método artificial (por ejemplo, una corriente eléctrica) para lograr que los electrones del material adquieran mayor energía, fundamental para emitir luz láser.



Una vez que la radiación sale de la cavidad se tiene un **haz de rayos láser**, que se caracteriza por tener:

- **Gran direccionalidad:** la luz sale en el mismo sentido formando un haz concentrado. Puede recorrer grandes distancias sin abrirse demasiado.
- **Monocromaticidad:** el color de luz láser es muy puro y depende del material utilizado. Por ejemplo, el de helio-neón es rojo, mientras que el de argón es verde.
- **Gran intensidad lumínica.**

## Aplicaciones pacíficas del láser

El dispositivo tecnológico al que llamamos láser tiene apenas un poco más de 40 años de existencia. En este corto tiempo de vida, sus aplicaciones se han multiplicado rápidamente a diversos campos. Todos estamos al tanto de algunas de las aplicaciones pacíficas y de los beneficios cotidianos que genera la utilización del láser, por ejemplo:

- Grabación y lectura de música en discos compactos (CD).
- Lectura de precios de productos en los supermercados.
- Impresión de información escrita con alto nivel de resolución y rapidez.
- Soldaduras, perforaciones y cortes de elementos industriales.
- Corrección de miopía y otras enfermedades del ojo.
- Eliminación de manchas en la piel.
- Tratamiento de caries, etc.

## Láser y desarrollo militar

Cuando se habla de materiales y elementos que relacionan la Física con los fines bélicos, la mayoría de los ciudadanos pensamos, casi en exclusividad, en las armas nucleares (bombas atómicas por ejemplo), sin embargo no tenemos en cuenta muchos otros avances de la Física que se utilizan con esos fines.

Olvidamos los aspectos térmicos de las vestimentas y tanques; así como los cálculos de energía de los alimentos necesarios para distintas operaciones. Tampoco pensamos en aspectos electromagnéticos como radares, equipos de radio y luces infrarrojas ni en las cuestiones aerodinámicas de los aviones. Existen muchas y variadas aplicaciones de esta ciencia en el campo militar. De todas maneras, sólo la física nuclear parece la responsable en las guerras.

En 1959, el láser aún no había sido desarrollado. Sin embargo, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos ya estaba interesado en las aplicaciones militares que podría tener. La compañía donde Maiman trabajaba en el desarrollo del primer láser tenía contactos frecuentes con el gobierno por este tema. En abril de 1972, el mundo se enteró de que los militares norteamericanos estaban utilizando bombas guiadas por láser en Vietnam. En las guerras contra Irak, su uso fue cosa habitual.

Con un sofisticado equipo con luz láser, un soldado desde tierra puede apuntar el haz hacia un objetivo (puente, tanque, etc.). La luz que se refleja en el blanco puede ser captada por un avión de ataque y así ser guiado al objetivo.

Los fines militares absorbieron a gran parte de los investigadores vinculados con el láser. Durante décadas, la mayor parte de los cargos para científicos jóvenes en esta área fueron financiados por el Departamento de Defensa y por los Laboratorios Nacionales de Estudios de Armamento Nuclear de Estados Unidos. Lo mismo sucedió en la ex Unión Soviética y en otros países tecnológicamente desarrollados. Incluso en la Argentina, uno de los laboratorios más antiguos e importantes que se dedica al láser depende del Instituto de

Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF). Actualmente, en muchos países hay grandes inversiones de dinero para desarrollos bélicos del láser (Bilmes, 1994).



CITEDEF, provincia de Buenos Aires

Con una visión ingenua, algunos sostienen que la finalidad de la ciencia es siempre éticamente neutra y que la responsabilidad recae en los gobiernos o individuos que utilizan los conocimientos científicos. Desde esta visión, los científicos no son responsables de las aplicaciones.

Existe también una postura más crítica: muchas veces, el desarrollo científico y tecnológico se realiza con fines bélicos desde el comienzo. En otras palabras, muchas veces, los científicos conocen qué se pretende realizar y cuáles serán sus aplicaciones inmediatas. Famoso es el caso de las investigaciones que produjeron la primera bomba atómica.

Robert Oppenheimer dirigió un grupo de físicos eminentes y en el invierno de 1945 tenían lista la bomba atómica. Al recordar la primera explosión nuclear en las pruebas en el desierto sostuvo que:



Rondó mi mente un pasaje del Bhagavad-Gita: 'Me he convertido en la muerte, la destructora de los mundos'. Pienso que todos nosotros sentíamos más o menos lo mismo.

Evidentemente, él sabía lo que había estado haciendo durante todos esos años.

Pocos días más tarde de la primera prueba, el 6 de agosto de 1945, la bomba se lanzó sobre Hiroshima, Japón. Todos vieron el resultado. Tres días después, el 9 de agosto, se lanzó otra bomba sobre Nagasaki. Cerca de 200.000 personas murieron por las bombas. Todavía hoy quedan secuelas genéticas.



## ACTIVIDADES INTEGRADORAS

### LA CIENCIA Y LOS PROBLEMAS DEL HOMBRE\*

El texto que se reproduce a continuación es un fragmento de un artículo escrito por dos científicos de prestigio internacional:

- André Danzin, director del Instituto Nacional de Investigaciones en Informática y Automática y presidente del Comité Europeo de Investigación y Desarrollo.
- Ilya Prigogine, director de los Institutos Internacionales de Física y de Química de Bruselas y del Ilya Prigogine Center for Statistical Mechanics de la Universidad de Texas. Recibió el Premio Nobel de Química en 1977 por su contribución a la termodinámica de no-equilibrio, particularmente la teoría de las estructuras disipativas.

Léanlo y discútanlo en grupo para responder a las preguntas que siguen:

La investigación científica es fruto de una necesidad específica y fundamental del espíritu humano: la necesidad de comprender, de discernir, de conocer. Nuestros antepasados más remotos ya sintieron ese llamado que ha seguido inspirando a los hombres hasta nuestros días. La investigación es exploración de lo desconocido, y por ello el hombre de ciencia vive dispuesto a aceptar la irrupción de lo inesperado. Él sabe que sus teorías y experimentos pueden desembocar en resultados que rebasen sus propias expectativas y que contradigan, incluso, las hipótesis que él elaborara y por las cuales rigiera su investigación.

El científico está dispuesto a tener que modificar profundamente la representación anticipada que el modelo, fruto de su mente, había creado. “Hay en el quehacer científico un rigor lógico esencial, pero su resultado, como el de todo proyecto humano, está revestido de irracionalidad. El resultado de la investigación suele estar lejos de lo que se buscaba, y en la mayoría de los casos es, por sus múltiples consecuencias, mucho más importante de lo que pudieron prever los investigadores. Mutilación grave, y a veces mortal para la fecundidad de la ciencia, sería el olvido de este carácter imprevisible e irracional de la investigación, así como toda limitación de la libertad del investigador, aunque se quisiera justificarla por un propósito de marchar sin rodeos hacia determinados objetivos”.

\* Actividad del Cuaderno de trabajo para alumnos, Apoyo al último año del nivel medio/polimodal para la articulación con el nivel superior. *Prácticas de lectura y escritura – Sociedad, Ciencia y Cultura Contemporánea*. Ministerio de Educación de la Nación, 2005.

El gran público ve las cosas de una manera muy diferente. Existe la creencia popular de que la ciencia y su aplicación constituyen la expresión más acabada de la racionalidad. El hombre llega a la luna, se adentra en el cosmos, se sumerge en el fondo de los océanos, erradica las enfermedades, realiza injertos de órganos, se comunica a distancia, logra desplazarse más rápidamente que el sonido y dominar el fuego nuclear. Gracias a la ciencia, esa soberana, el hombre se convierte en un ser todopoderoso. Quienes jamás han tomado contacto directo con la práctica de la investigación científica suelen expresar una misma opinión: “Si la investigación científica estuviera bien orientada y fuera libre de los objetivos que hoy la desvían, como la producción de armamentos y el servicio de intereses utilitarios, podría proporcionar a los hombres las respuestas que requieren para satisfacer sus necesidades”. La humanidad se halla ante la necesidad de dar con las soluciones para algunos grandes problemas que se derivan de su actual estado de desarrollo. El desafío tiene ribetes patéticos: ¿cómo dar satisfacción a la confiada esperanza que emana de la idea de la supuesta racionalidad de la ciencia, cuando la esencia misma del progreso científico es detectar lo inesperado, provocar lo aleatorio? (Danzin y Prigogine, 1982.)

1. ¿Cómo se caracteriza a la investigación científica en este texto desde el punto de vista del hombre de ciencia? Comparen esta caracterización con las ideas que ustedes tienen acerca de la actividad de los científicos.
2. ¿Cuál es la imagen que la sociedad en general tiene de la ciencia? ¿Qué consecuencias tiene esta opinión sobre la relación entre ciencia y sociedad?
3. ¿A qué se refieren los autores cuando sostienen que la investigación científica tiene un “carácter imprevisible e irracional”? Comenten esta afirmación y piensen en un ejemplo que pueda ilustrar este aspecto de la tarea del científico.
4. ¿Qué restricciones pueden atentar contra el desarrollo de la investigación científica? ¿Por qué?
5. ¿Cuál es el desafío que enfrenta la ciencia hoy? ¿Por qué los autores lo califican de patético?

## BIBLIOGRAFÍA

A continuación le presentamos los nombres de algunos textos que podrán serle útiles a lo largo de su trabajo con el Módulo para consultar dudas, ampliar sus saberes en relación con el lenguaje o enriquecer las actividades propuestas.

Recorra a su docente tutor o al bibliotecario para que lo ayude en la búsqueda del material que le interese.

- AA.VV. (1970): *PSSC Física*, Barcelona, Buenos Aires, México, Editorial Reverté.
- Baig, Antoni y Montserrat Agustench (1987): *La revolución científica de los siglos XVI y XVII*, Madrid, Alhambra.
- Bilmes, Gabriel (1994): *Laser*, Buenos Aires, Colihue.
- Copi, Irving (1972): *Introducción a la Lógica*, Buenos Aires, Eudeba, p.483.
- Cromer, Alan (1988): *Física para las ciencias de la vida*, México, Reverté.
- Danzin, André e Ilya Prigogine (1982): "Qué ciencia para el futuro", *El Correo de la Unesco*, Paris, Año XXXV, febrero.
- Einstein, Albert y Leopold Infeld (1986): *La evolución de la física*, Barcelona, Salvat Editores.
- Feynman, Richard; Robert Leighton y Matthew Sands (1987): *Física*, Delaware, Addison Wesley Iberoamericana.
- Fourez, G. (1997): *Alfabetización científica y tecnológica*, Buenos Aires, Aique.
- French, A. (1978): *Mecánica newtoniana*, Barcelona, Editorial Reverté.
- Hawking, Stephen (1990): *Historia del tiempo*, Buenos Aires, Alianza Editorial.
- Hecht, Eugene (1987): *Física en perspectiva*, Delaware, Addison Wesley Iberoamericana.
- Hewitt, Paul (1998): *Física conceptual*, México D.F., Addison Wesley Longman de México.
- Hodson, Derek (1989): "Filosofía de la ciencia y educación científica" *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*, Sevilla, Diada, pp. 5-21.
- Levi de Cabrejas, Mariana (1999): *Tomografía en medicina nuclear*, Buenos Aires, ALASBIMN.
- Maiztegui, A. y J. Sabato (1999): *Física*, Buenos Aires, Kapelusz.
- Ribeiro da Luz, Máximo y Beatriz Alvarenga Álvares (2000): *Física*, México DF, Oxford.
- Sagan, Carl (1985): *Cosmos*, Barcelona, Planeta.
- Sears, Francis; Mark Zemansky y Hugh Young (1988): *Física universitaria*, Delaware, Addison Wesley Iberoamericana.
- Tignanelli, Horacio (1998): *Así funcionaba el Sol*, Buenos Aires, Colihue.
- Tipler A. Paul (1994): *Física I*, Barcelona, Editorial Reverté.

# CRÉDITOS DE IMÁGENES

## Unidad 1

Página 10

Wikimedia

Página 20

(Izquierda) Archivo del Ministerio de Educación

Página 21

(Arriba) Museo Británico

Página 28

University of Michigan Library Digital Collections.

Página 29

Ankurgupta208

Página 34

Godfrey Kneller. Sir Isaac Newton. 1689.

Reino Unido.

## Unidad 2

Página 45

Marie-Lan Nguyen

Página 68

(Arriba) Wren Library

## Unidad 3

Página 83

Wikimedia public domain

Página 88

(Arriba) Kreuzschnabel

(Centro) Ministerio de Educación

Página 89

(Arriba) pixshark.com

Página 92

Archivo Ministerio de Educación

Página 93

Siemens Pressebild – Germany

Página 94

(Arriba izquierda) Nesnad

(Abajo izquierda) N.A.S.A.

(Arriba derecha) Archivo Ministerio de Educación

(Centro derecha) Archivo Ministerio de Educación

(Abajo derecha) Archivo Ministerio de Educación

Página 99

Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya

Página 112

(Arriba izquierda) Inta Informa

(Abajo izquierda) Ministerio de Planificación

Federal, Inversión Pública y Servicio.

(Arriba derecha) Brocken Inaglory

(Abajo derecha) Brocken Inaglory

Página 113

(Arriba) Mcukilo

(Abajo) Mike Peel

Página 114

(Abajo) Greenpeace Argentina

Página 115

(Arriba) Greenpeace Argentina

## Unidad 4

Página 122

Archivo Ministerio de Educación

Página 126

AndonicO

Página 131

Wikimedia public domain

Página 135

Galleryhip.com

Página 137

Silvina Chauvin

## Unidad 5

Página 144

Oak Ridge Associated Universities (ORAU)

Health Physics Historical Instrumentation

Museum Collection

Página 145

Brudersohn

Página 146

pixshark.com

Página 147

(Arriba izquierda) Wolfgang Moroder.

(Arriba derecha) imgkid.com

(Abajo) Charlie Lorenz

Página 150

JJ Harrison

Página 151

NASA, ESA, the Hubble Heritage Team

(STScI/AURA)

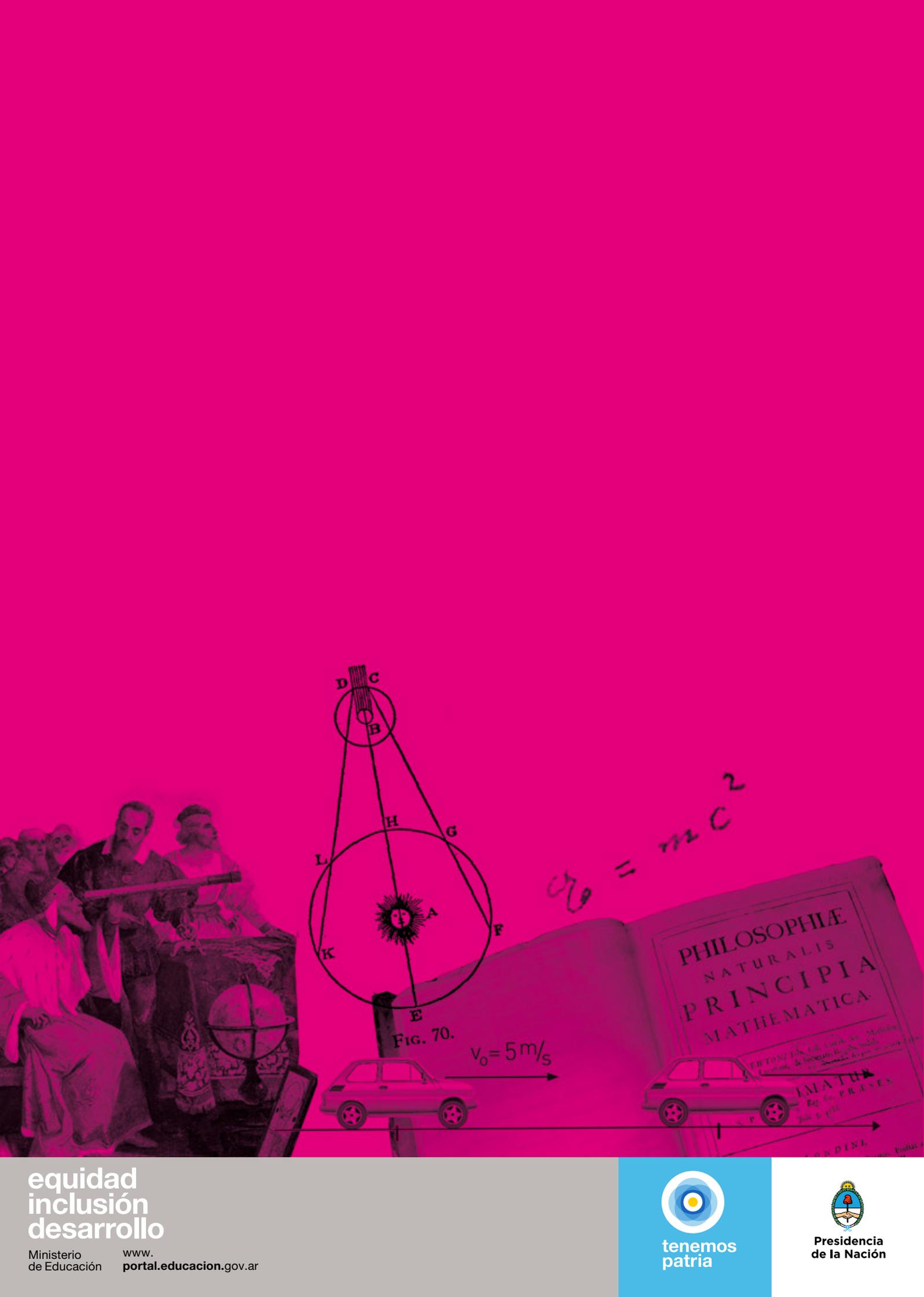
Página 152

Hinode JAXA/NASA

Página 156

CITEDEF





equidad  
inclusión  
desarrollo

Ministerio de Educación [www.portal.educacion.gov.ar](http://www.portal.educacion.gov.ar)



tenemos patria



Presidencia de la Nación