



Ministerio  
de Educación



# FÍSICA

TEXTO DEL ESTUDIANTE

1.º  
CURSO | Bachillerato  
General  
Unificado

Distribución Gratuita  
Prohibida su venta

**PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA**

Rafael Correa Delgado

**MINISTRO DE EDUCACIÓN**

Augusto Espinosa Andrade

**VICEMINISTRO DE EDUCACIÓN**

Freddy Peñafiel Larrea

**VICEMINISTRO DE GESTIÓN EDUCATIVA**

Jaime Roca Gutiérrez

**SUBSECRETARIA DE FUNDAMENTOS EDUCATIVOS**

Tannya Lozada

**DIRECTORA NACIONAL DE CURRÍCULO**

Isabel Ramos Castañeda

© Ministerio de Educación del Ecuador, 2014

Av. Amazonas N34-451 y Atahualpa

Quito, Ecuador

[www.educacion.gob.ec](http://www.educacion.gob.ec)

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

Primera edición: julio 2014

Impreso por El Telégrafo

ISBN: 978-9942-19-117-5

Derechos de autor: QUI-041808

DISTRIBUCIÓN GRATUITA - PROHIBIDA SU VENTA

**Física****Primer año de Bachillerato General Unificado****TEXTO DEL ESTUDIANTE**

El libro Física para primer curso de Bachillerato de la serie Bachillerato Ecuador es una obra colectiva creada y diseñada por el Departamento de Ediciones Educativas de Santillana S. A., bajo la Dirección Editorial de Ana Lucía de Escobar

**EQUIPO EDITORIAL****Edición:**

Cecilia Prado  
Colaboración: Juan Ortiz

**Corrección De Estilo**

Ana Aulestia y Cecilia Miranda

**Diseño y Diagramación**

Ma. Dolores Terán, Kaloyan Amores,  
Gonzalo Arias y Sandra Corrales

**Ilustración y fotografía:**

Archivo Santillana

**Concepto general:**

Verónica Tamayo

**EQUIPO TÉCNICO****Administradora de operaciones:**

Adelaida Aráuz

**Jefa de corrección de estilo:**

Eurídice Salguero

**Jefe de arte:**

Gabriel Karolys

**Coordinadora gráfica:**

Verónica Tamayo

**Supervisora de calidad:**

Nancy Novillo

**Digitalizadora de imágenes:**

Diana Novillo

**Documentalista:**

Cecilia Flores

**ADVERTENCIA**

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

## PRESENTACIÓN

*El Plan Decenal de Educación, aprobado mediante Consulta Popular el 26 de noviembre 2006 con el 66% del total de votos, marcó desde entonces la agenda para la Política Pública en el Ministerio de Educación.*

*La estrategia clave para la consecución de las Políticas del Plan Decenal de Educación referentes a la Universalización de la Educación General Básica de primero a décimo grados, al incremento de la población estudiantil del Bachillerato hasta alcanzar al menos el 75% de los jóvenes en la edad correspondiente (al año 2013), a la tasa neta de asistencia a Educación General Básica que alcanzó el 96,1% y a la tasa neta de asistencia a Bachillerato que ascendió a 65,8% frente al 51,2% (registrado en el año 2007), está necesariamente ligada a la fuerte inversión que el Gobierno Nacional ha realizado los últimos años en educación.*

*Con el presupuesto asignado, el Ministerio de Educación despliega, desde el año 2007, varios programas dirigidos a la eliminación de las barreras económicas de acceso a la educación de los niños, niñas y adolescentes. Uno de estos programas es el referente a la entrega gratuita de textos escolares a los estudiantes y docentes de Educación General Básica, Bachillerato General Unificado de la oferta intercultural e intercultural bilingüe, que asisten de manera regular a las instituciones fiscales, fiscomisionales y municipales en todo el país.*

*Para los estudiantes, se entrega textos y cuadernos de trabajo; para los docentes, textos y guías docentes; y para los estudiantes y docentes de Educación Intercultural Bilingüe, los kukayos pedagógicos (textos bilingües).*

*En el año 2014, se entregará textos a los estudiantes y guías del docente para Bachillerato General Unificado (BGU) del régimen Sierra y Costa en las materias de Matemática, Lengua y Literatura, Física, Química, Desarrollo del Pensamiento, para el primer curso; Biología, Lengua y Literatura, Físico-Química, para segundo curso; y Lengua y Literatura, Matemática, Educación para la Ciudadanía, para tercer curso. Adicionalmente, se entregará material para el estudiante (texto y libro de trabajo) y material para el docente (guía docente y CD de audio) del área de inglés a los tres cursos de BGU.*

*El libro de texto tiene como principal objetivo brindar apoyo, tanto a los docentes como a los estudiantes y representantes, en la consecución de los estándares de aprendizaje, referidos a los mínimos que los estudiantes deben alcanzar al culminar el tercer año del Bachillerato. Por lo tanto, brinda información científica sobre los temas en estudio, propone actividades de investigación y aplicación del nuevo conocimiento, invita al lector a aplicar estrategias de autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación, enseña a citar fuentes de consulta y enlista la bibliografía en la que sustenta la información.*

*Por todo lo anterior, se ha puesto especial cuidado en la selección de este texto, aplicando un estricto proceso de evaluación del rigor científico y curricular que el Ministerio de Educación exige en este material.*

*Siendo un material de apoyo básico, esperamos que los docentes y sobre todo los estudiantes no se sujeten exclusivamente a la información vertida en él, sino que este libro despierte las ganas de investigar, de ampliar su información, de acudir a otras fuentes que los lleven hacia una mayor comprensión y aplicación en la vida diaria de lo que aprenden.*

*Éxitos en este nuevo año y a escribir nuestra nueva historia...*

**Ministerio de Educación**



# Presentación

El texto de *Física 1* responde a los requerimientos planteados en los lineamientos curriculares para el Nuevo Bachillerato ecuatoriano. Trabaja de forma consistente los objetivos y destrezas con criterios de desempeño descritas en dicho documento.

**Páginas de inicio:** El objetivo de estas páginas es presentar el tema general del bloque curricular, activar los conocimientos previos y despertar el interés por los nuevos contenidos. Además, presenta los objetivos educativos del bloque respectivo.

**Observa y analiza la imagen:** presenta un texto breve de divulgación científica relacionado con el tema del bloque. Genera interrogantes que permiten explorar los conocimientos previos y detectar algunas ideas erróneas derivadas de la experiencia cotidiana.

## Páginas de conocimiento

El contenido de cada bloque está distribuido en temas. Cada uno de estos se presenta de forma clara y organizada, y está acompañado por fotografías, ilustraciones, tablas y esquemas.

**Ejemplos:** son problemas resueltos que aclaran algún concepto, ejemplifican un hecho o muestran una estrategia determinada para la solución de un problema concreto.

**Actividades:** son ejercicios sin resolver que permiten reforzar conocimientos y aplicar los conceptos aprendidos.

**Problemas de ampliación:** en estas páginas se plantean actividades que toman en cuenta los siguientes aspectos: la *observación*, la *inducción*, la *hipótesis*, la *comprobación de la hipótesis* y la *demostración*.

**Evaluación:** es una página para evaluar lo aprendido a lo largo del bloque. Además, encontrarás una autoevaluación y una coevaluación.

**Buen Vivir:** en esta doble página se muestra una aplicación de la física a un eje temático de la ciudadanía y el Buen Vivir.

Se incluyen secciones como **Tarea**, **Lección**, **Trabajo cooperativo**, **Trabajo individual** e **Investiga**, que presentan actividades que forman parte de tu evaluación formativa y te permiten afianzar conocimientos y aplicar conceptos.

Estas actividades, que se identifican con el logo @, son para motivarte a trabajar con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Con ellas podrás poner en práctica tus conocimientos informáticos.

# Índice

## Bloque 1



<b>Relación de la Física con otras ciencias</b>	<b>6</b>
¿Cómo se construye la ciencia?	8
Relación de la Física con otras ciencias	8
El trabajo científico	9
Tipos de fenómenos físicos, origen de los fenómenos	10
Sistema Internacional de Unidades	14
Sistemas físicos	14
Magnitudes físicas	14
Conversión de unidades	17
Notación científica y uso de prefijos	18
Tratamiento de errores	20
Problemas de ampliación	22
Funciones y gráficas	24
Sistemas coordenados	24
Tratamientos de datos	25
Proporcionalidad directa	26
Proporcionalidad inversa	27
Otras relaciones entre variables	28
Problemas de ampliación	30
Magnitudes vectoriales	32
Los vectores	32
Vector desplazamiento	33
Vector Velocidad	33
Suma de vectores	34
Problemas de ampliación	36
Evaluación	39
Buen Vivir	40

## Bloque 2



<b>Movimiento de los cuerpos en una dimensión</b>	<b>42</b>
Cinemática	44
El movimiento	44
Distancia y desplazamiento	46
Rapidez y velocidad	46
La aceleración	48
Movimientos de trayectoria unidimensional	50
El movimiento rectilíneo uniforme	50
Ecuaciones del movimiento rectilíneo uniforme	50
Análisis gráfico del movimiento rectilíneo uniforme	50
El movimiento rectilíneo uniformemente variado	52
Ecuaciones del movimiento uniformemente variado	52
Análisis gráfico del movimiento uniformemente variado	52
Problemas de ampliación	58
Caída libre	60
¿Cómo caen los cuerpos?	60
Ecuaciones y gráfico de caída libre	62
Problemas de ampliación	66
Evaluación	69
Buen Vivir	70

## Bloque 3

<b>Movimiento de los cuerpos en dos dimensiones</b>	<b>72</b>
Movimientos de trayectoria bidimensional	74
Composición de movimientos	74
Ecuaciones del movimiento bidimensional	76
Ánálisis y gráficas	76
Problemas de ampliación	78
Movimientos de proyectiles	80
El principio de inercia	80
Ánálisis, ecuaciones y gráficas del movimiento	85
Problemas de ampliación	88
Evaluación	91
Evaluación primer trimestre	92
Buen Vivir	94

## Bloque 4

<b>Leyes del movimiento</b>	<b>96</b>
Dinámica de los movimientos	98
Las fuerzas y el movimiento	98
Primera ley de Newton	104
Principio de inercia	104
Algunas fuerzas comunes	105
Problemas de ampliación	110
Segunda ley de Newton. Ley fundamental de la dinámica	112
Postulados de la segunda ley de Newton	112
El peso	114
Fuerza de rozamiento	115
Plano inclinado	117
Problemas de ampliación	120
Tercera ley de Newton. Acción y reacción	122
Postulados de la tercera ley de Newton	122
Cantidad de movimiento	124
Impulso mecánico	125
Conservación de la cantidad de movimiento	126
Sistemas de propulsión	128
Problemas de ampliación	132
Evaluación	135
Buen Vivir	136

## Bloque 5

<b>Trabajo, potencia y energía</b>	<b>138</b>
Trabajo	140
Definición de trabajo	140
Energía	146
Energía cinética	146
Energía potencial	150
Potencia	152
Concepto y eficiencia	152
Actividades	155
Problemas de ampliación	156
Conservación de la energía	140
Energía potencial elástica	163
Las energías alternativas	167
Problemas de ampliación	168
Evaluación	171
Buen Vivir	172

## Bloque 6

<b>Física atómica y nuclear</b>	<b>174</b>
Partículas elementales del átomo	176
Átomo reseña histórica	176
Átomo de Rutherford	178
Espectros	179
Hipótesis cuántica	180
Energía de enlace y energía liberada	181
El efecto fotoeléctrico	181
El modelo atómico de Bohr	183
Modelo atómico actual	185
Problemas de ampliación	188
Estructura nuclear	190
Núcleo atómico	190
Modelos nucleares	191
Vida media de un elemento radiactivo	192
Características de la fusión nuclear	192
Reactores nucleares	193
Fusión nuclear	194
La radiación	195
Métodos de detención de la radiación	196
Radiactividad y los daños en los seres vivos	197
Problemas de ampliación	198
Evaluación	201
Evaluación segundo trimestre	202
Buen Vivir	204
Experimentos	206
Bibliografía	208

Bloque

1

# Relación de la Física con otras ciencias





A través de la actividad científica es posible conocer con detalle el mundo que nos rodea. Desde la antigüedad, el ser humano se ha formulado preguntas acerca de los objetos que lo rodean en cuanto a sus interacciones, sus aplicaciones, sus comportamientos repetidos y otras cuantas inquietudes que le despierta el observar los eventos con los que se encuentra a diario. A lo largo de la historia se han desarrollado las ciencias naturales, las cuales se construyen a partir de la observación, la medición, la determinación de propiedades, la predicción y el establecimiento de teorías.



La física es una ciencia natural que se encarga del estudio de la materia y la energía del Universo y de la interacción entre las mismas. Este estudio se realiza en la búsqueda de unos principios fundamentales que le permitan descubrir la estructura del Universo y describir todos los fenómenos observables. A través de estos principios fundamentales, la física ha intentado explicar fenómenos como la existencia de agujeros negros, la producción de impulsos eléctricos en el cuerpo humano o la producción de energía en una termoeléctrica, entre muchos otros.



### Observa y analiza las imágenes.

- ¿Podemos explicar los fenómenos naturales por medio de nuestro conocimiento de la física?
- ¿Cómo podemos aprovechar la gran cantidad de energía que recibimos del Sol?
- ¿De qué manera las grandes investigaciones nos llevan a conocer las leyes que rigen el universo?
- ¿Las leyes físicas se cumplen en todo el universo?



Revisa el enlace [goo.gl/qmb4h](http://goo.gl/qmb4h) de Física interactiva y encontrarás más información.

### Objetivo educativo

Determinar la incidencia y relación de la Física en el desarrollo de otras ciencias y utilizar correctamente las herramientas que tiene a su disposición, de tal forma que los estudiantes puedan unificar criterios sobre los sistemas de medición que la Física requiere para desarrollar su metodología de trabajo; reconocer a la Física como un mecanismo para interpretar mejor las situaciones del día a día, respetando siempre las fuentes y opiniones ajenas.



Rondador. Instrumento musical andino.



# ¿Cómo se construye la ciencia?

## Destreza con criterio de desempeño:

Relacionar científicamente la Física con otras ciencias (como la Matemática, Astronomía, Química, Biología, entre otras), a partir de la identificación de procesos cualitativos y cuantitativos basados en situaciones reales.

## RELACIÓN DE LA FÍSICA CON OTRAS CIENCIAS

### Conocimientos previos

Pensemos en un futbolista que patea un balón para cobrar un penalti. La pelota sigue una trayectoria complicada y sorprendente de tal manera que confunde al arquero y la pelota entra en el arco.

Según nuestra experiencia cotidiana, sabemos que el efecto de la patada es darle al balón una velocidad con la cual se aleje del suelo y entre en el arco.

En la física, lo primero que se consideraría es a la pelota como una partícula (sin dimensiones), luego, trataría de averiguar lo que pasa cuando se golpea esa partícula, el tiempo que dura la patada, la velocidad con la que viaja la partícula, etc.

Responde: ¿Qué otras cuestiones crees que trataría de averiguar la física?



© Santillana

Fig. 1.1. La física se ocupa del estudio de los fenómenos del universo.

### ¿QUÉ ESTUDIA LA FÍSICA?

La física es una disciplina científica que investiga el por qué y el cómo de los fenómenos naturales que observamos, a través de los sentidos o de los instrumentos que disponemos.

En este contexto, los físicos intentan descubrir cuáles son las leyes básicas que rigen el comportamiento de la materia y la energía, en cualquiera de sus formas.

Asimismo, tratan de discernir el comportamiento y la naturaleza de las estrellas, la luz, el tiempo, el sonido y las partículas subatómicas, entre otros. (fig. 1.1).

### LA FÍSICA, LA QUÍMICA Y LA BIOLOGÍA

Para explicar los nuevos descubrimientos en términos de lo que ya se conoce y para lograr que estos descubrimientos sean más comprensibles, se diseñan *modelos*, estos buscan describir la realidad valiéndose de la comparación entre unos fenómenos conocidos y el fenómeno que se pretende describir.

La física no es una disciplina de estudio aislada, hay muchos puntos de contacto con otras ciencias, como la química, la biología, la matemática, la astronomía, entre otras.

Una de las ciencias que estudia gran cantidad de situaciones en las cuales utiliza *modelos* de la física y de la química, es la biología cuando trata de explicar el comportamiento de organismos vivos.

Veamos algunos ejemplos; en el cuerpo humano, los alimentos son la principal fuente de energía. La temperatura del cuerpo debe mantenerse aproximadamente constante, por tanto, es de esperarse que sucedan reacciones de combustión en el organismo.

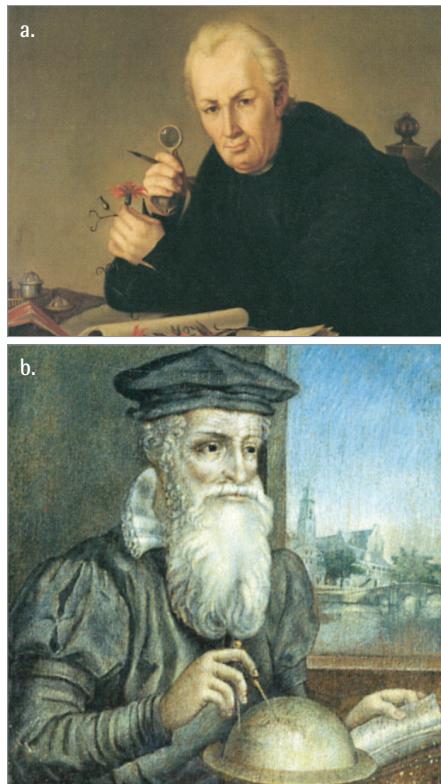
Además de la energía necesaria para el movimiento del cuerpo, se requiere de cierta energía para que se lleven a cabo los procesos de circulación, de respiración y de excreción.

### Tc Trabajo cooperativo

Comenta con un compañero la siguiente frase de Albert Einstein: «El objetivo de la ciencia es, por una parte la comprensión, lo más completa posible, de la conexión entre las experiencias de los sentidos en su totalidad y, por otra, la obtención de dicho objetivo usando un número mínimo de conceptos y relaciones primarios».



## EL TRABAJO CIENTÍFICO



© Santillana

Fig. 1.2. La física, la química y la biología son ciencias experimentales y se basan en la observación, ya sea cualitativa (a) o cuantitativa (b).

### EL TRABAJO CIENTÍFICO ES UN TRABAJO PLANIFICADO

El trabajo de los científicos es un trabajo planificado, con objetivos, fases o etapas que, habitualmente, aunque no siempre, están unas a continuación de otras. Esta planificación permite a los científicos abordar problemas, explicar fenómenos, realizar descubrimientos y obtener conclusiones generales sobre el funcionamiento del Universo en el cual vivimos.

### EL TRABAJO CIENTÍFICO INTENTA BUSCAR SOLUCIONES

El quehacer científico parte de la curiosidad. Es decir, lo importante de la ciencia es la capacidad humana para plantearse preguntas. Esta capacidad surge de la necesidad de saber y entender cómo y por qué pasa esto o aquello.

En este sentido, los científicos deben ser como niños, indagando y preguntando constantemente, acerca de los sucesos más complejos e incomprensibles que puedan imaginar.

En muchas ocasiones, la motivación de los científicos se relaciona con las necesidades de la sociedad, por lo que su trabajo tiene un marcado carácter social.

Por ejemplo, la investigación sobre la forma de combatir una enfermedad ha permitido el descubrimiento de las vacunas.

### EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO PARTE DE LOS CONOCIMIENTOS EXISTENTES

Para realizar su trabajo, los científicos no parten de cero, sino que en sus investigaciones aprovechan los conocimientos previos que existen sobre el objeto de estudio. Por ello, se dice que la ciencia es **acumulativa**, es decir, que los nuevos conocimientos se construyen sobre los anteriores y, de esta forma, dichos conocimientos pueden ser ampliados. Así, por ejemplo, el físico inglés **Isaac Newton** (1643-1727) declaró que nunca habría podido llegar a plantear sus leyes sobre el movimiento sin apoyarse en los hombres de dos gigantes: **Galileo Galilei** (1564-1642) y **Johannes Kepler** (1571-1630).

### EL TRABAJO CIENTÍFICO ES CUALITATIVO Y CUANTITATIVO

El científico, en su trabajo, realiza observaciones de tipo cualitativo en las que no es necesario tomar medidas (fig. 1.2a). En estas observaciones, un determinado fenómeno es analizado y descrito para establecer la causa que lo produce, los factores que intervienen en él, la relación que tiene con otros fenómenos, etc.

Pero siempre que puede, el científico efectúa también medidas rigurosas y precisas en las que **cuantifica** ciertas características de los fenómenos que observa (fig. 1.2b). Con base en estas mediciones, es posible en muchos casos formular matemáticamente las observaciones y las conclusiones. Esto ocurre sobre todo en las ciencias experimentales, como son la física, la química y la biología.



#### Tarea

Responde: ¿Qué experimento podrías formular en el que sea importante tanto la observación cuantitativa como la cualitativa?



Fig. 1.3. Observación del arcoíris.



Siquieres saber más sobre el trabajo de los científicos, ingresa al video Mentes brillantes en [youtu.be/-88Teogelj8](https://youtu.be/-88Teogelj8).

## Tc Trabajo cooperativo

Formen parejas e investiguen sobre la diferencia entre un fenómeno físico y uno químico. Utilicen la información sobre Fenómenos fisicoquímicos que se encuentra en [es.slideshare.net/dmp131/fenmenos-fisicos-y-quimicos-13623026](http://es.slideshare.net/dmp131/fenmenos-fisicos-y-quimicos-13623026).

## EL TRABAJO CIENTÍFICO CONDUCE A RESULTADOS

Los resultados de la experimentación y del trabajo científico conducen a plantear generalidades. Estas generalidades son conceptos que se aplican a la gran variedad de fenómenos.

Valiéndose de estos conceptos, es posible predecir que siempre que se den las mismas condiciones en las que se ha trabajado, se producirá el mismo fenómeno que se ha observado y explicado.

Esta capacidad de predecir y de aplicar conceptos generales a gran variedad de fenómenos hace que los resultados del trabajo científico tengan carácter casi universal. Sin embargo, nunca podremos estar seguros de que en el futuro no pueda darse una experiencia que contradiga la teoría.

Por ejemplo, la mecánica clásica, basada en las tres leyes del movimiento planteadas por Isaac Newton, en el siglo XVII, son válidas para describir y predecir el movimiento de los cuerpos, siempre que estos no se muevan con velocidades cercanas a la velocidad de la luz (300 000 km/s) y que su masa no sea demasiado pequeña (como la de una partícula subatómica).

Para sistemas con estas condiciones, como el interior de los átomos, debe aplicarse la mecánica cuántica, desarrollada a partir de 1901, gracias a los trabajos de Planck, Einstein y De Broglie, entre otros.

## EL TRABAJO CIENTÍFICO ES UN TRABAJO EN EQUIPO

Aunque en un principio los científicos concebían sus ideas y experimentaban sobre ellas de manera independiente, en la actualidad esa forma de trabajo está totalmente superada. Hoy día, los hombres y mujeres de ciencia se asocian en equipos y entre todos, con una permanente comunicación nacional e internacional, intentan dar explicaciones a los hechos y fenómenos que estudian.

Cada vez se acepta más la importancia y la necesidad de conformar grupos de trabajo interdisciplinarios, dentro de los cuales sea posible abordar problemas concretos de una manera más completa, y por tanto, más cercana a la realidad.

## TIPOS DE FENÓMENOS FÍSICOS, ORIGEN DE LOS FENÓMENOS

Las ciencias experimentales se desarrollan siguiendo un procedimiento ordenado, cuyas principales fases vamos a analizar con el fenómeno de la aparición del arcoíris.

### LA OBSERVACIÓN DEL FENÓMENO

El primer paso es observar la aparición, las circunstancias y las características en que se produce el fenómeno que se va a estudiar. Esta observación debe ser reiterada, minuciosa, rigurosa y sistemática.

La primera pregunta que nos formulemos será: ¿En qué circunstancias aparece el arcoíris?

La observación nos indicará que el arcoíris aparece cuando llueve y hace Sol simultáneamente. Además que para poder apreciarlo, debemos ubicarnos en posiciones específicas con respecto al Sol.

La segunda pregunta puede ser: ¿Cómo podemos describir el arcoíris? (fig. 1.3)



© Santillana

Fig. 1.4. Simulación del arcoíris.

La observación nos permitirá afirmar que la forma del arcoíris es de un arco de circunferencia compuesto por siete colores: violeta, azul (índigo), azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo.

### LA BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Luego de la observación es necesario consultar en diferentes fuentes, como libros, enciclopedias, revistas científicas o Internet, todo acerca del fenómeno que se está estudiando, ya que en ellos se encuentra el conocimiento científico acumulado. Esto es imprescindible en todo trabajo científico, pues asegura que el esfuerzo aportará nuevos conocimientos a la ciencia.

En el caso de nuestro ejemplo, la consulta realizada confirmará que: el arcoíris solo aparece cuando llueve y hace Sol simultáneamente y, además, siempre tiene los mismos colores dispuestos en el mismo orden. También podemos encontrar que pueden aparecer dos arcoíris, uno de ellos más tenue que el otro y, por tanto, más difícil de observar. Finalmente, sabremos quiénes han estudiado antes el mismo fenómeno.

### LA FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego de la observación y la documentación, el científico plantea una posible explicación del fenómeno, tratando de dar razón a preguntas como ¿por qué se produce? Esta explicación debe ser coherente con las leyes y teorías científicas aceptadas hasta el momento y se denomina **hipótesis científica**.

A partir de la hipótesis planteada es posible especular acerca de qué pasaría si cambiamos algo o si las condiciones fueran diferentes. En otras palabras, se hace suposiciones y predicciones que luego deberán ponerse a prueba, a través de una serie de experimentos.

Sabemos que el arcoíris es un fenómeno relacionado con el comportamiento de la luz, puesto que sólo se produce en presencia del Sol y que el agua está relacionada con su ocurrencia, ya que solo aparece cuando llueve.

Podemos plantear una explicación a manera de hipótesis en los siguientes términos: *El arcoíris se debe a que la luz solar cambia de medio y en consecuencia, se descompone en diferentes colores debido a la presencia de las gotas de lluvia.*

De acuerdo a esta hipótesis, podemos predecir, por ejemplo, que el fenómeno del arcoíris no se presentará si no hay una cierta cantidad de gotas de agua en el aire atmosférico.

### LA COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL

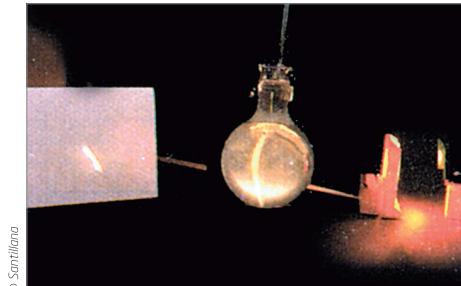
La hipótesis se confirma con experimentos que reproduzcan las condiciones bajo las cuales ocurre el fenómeno estudiado, y de esta forma, poder observarlo mejor. Si en tales condiciones el fenómeno tiene lugar y se cumplen las suposiciones y predicciones que se realizó con base en la hipótesis, esta tendrá validez.

A simular lluvia con una manguera de riego apretando un tanto su extremo de salida y colocándonos de espaldas al Sol (fig. 1.4), podemos comprobar que en el horizonte de la lluvia aparece un pequeño arcoíris. A partir del experimento, afirmamos que nuestra hipótesis es válida, porque bajo las mismas condiciones que se dan en la naturaleza, se ha producido un arcoíris.



#### Tarea

Piensa en algún fenómeno natural que te llame la atención y plantea una hipótesis que te permita explicarlo.



© Santillana

Fig. 1.5. Montaje de laboratorio para la observación de un efecto semejante al del arcoíris.

## EL TRABAJO EN EL LABORATORIO

El laboratorio es el lugar en el cual se disponen las condiciones necesarias para reproducir artificialmente un fenómeno estudiado, aquí es posible cuantificar las variables, al tomar datos, y repetir las medidas tomadas, por parte de diferentes personas.

Para el fenómeno del arcoíris, en el laboratorio, se lo puede reproducir de la siguiente manera (fig. 1.5):

Sustituimos los rayos del Sol por los producidos por un foco luminoso.

Una gota de lluvia, por un matraz lleno de agua.

El fondo del cielo, por una pantalla de cartulina de color blanco.

Una vez realizado el experimento se observa un efecto similar al arcoíris.

El paso siguiente sería explicar lo observado. *Cuando la luz llega al matraz, cambia de dirección pues entra en un nuevo medio, el agua. Al salir del mismo vuelve a cambiar su dirección, descomponiéndose en los seis colores que vemos en la pantalla de cartulina.* En la naturaleza, ocurre lo mismo en las miles de gotas que hay en la atmósfera y se forma el arcoíris.

## CONCLUSIONES Y COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de información y la comprobación de una hipótesis por parte de los científicos conducen a emitir conclusiones. Estas conclusiones pueden ser de dos tipos:

**Empíricas.** Las conclusiones se basan en la experimentación.

**Deductivas.** Parten de premisas que han sido comprobadas anteriormente, para deducir otras de manera lógica.

Toda conclusión debe ser divulgada a la comunidad científica para que pueda ser utilizada en beneficio de la humanidad.

## LA ELABORACIÓN DE TEORÍAS

El filósofo alemán **Goethe**, dijo: «toda contemplación se convierte en observación, toda observación conduce a una conjectura, toda conjectura conlleva el establecimiento de un enlace importante y se puede decir que cada vez que nosotros examinamos con atención el mundo, creamos una teoría».

Estas palabras sitúan la observación como una contemplación interesada en el conocimiento del fenómeno. A partir de la misma surgen hipótesis y suposiciones que representan una primera aproximación al conocimiento.

Las **leyes** son hipótesis comprobadas que permiten explicar algunos fenómenos y hacer predicciones acerca de los mismos. Deben ser generales y en lo posible, estar expresadas mediante funciones matemáticas.

Las **teorías** son sistemas de leyes que relacionadas entre sí en forma coherente, permiten explicar fenómenos. Las teorías científicas tienen validez hasta que muestran limitaciones para explicar determinados fenómenos o hasta que un nuevo descubrimiento las contradice.

El fenómeno del arcoíris quedó explicado al comprobar la hipótesis que establece que este se forma debido a lo que se conoce como refracción de la luz al atravesar gotas de agua. Posteriormente, se aceptó que los diferentes colores que componen la luz blanca se comportan de manera diferente cuando cambian de medio, en este caso de aire a agua.



### Ti Trabajo individual

Analiza y responde:

Si viéramos que el arcoíris se forma en un día que no llueve, de acuerdo con las conclusiones obtenidas, ¿qué deberíamos hacer con las hipótesis que hemos planteado acerca de la formación del arcoíris?



## Actividades

Describe la importancia de la Física.

1. ¿Cuál es la importancia de la matemática para abordar situaciones propias de la física?

Dimensiona la importancia de la Física.

2. ¿Cuál de los enunciados es verdadero?

- a. La física utiliza los sentidos, los instrumentos de medición y la observación en su proceso de búsqueda del por qué y el cómo suceden los fenómenos naturales.
- b. Los pasos del trabajo científico se deben desarrollar en el orden en el que están planteados para poder obtener los resultados esperados.
- c. La curiosidad y el deseo de saber más, constituyen el principal insumo del trabajo científico.
- d. El trabajo científico de mayor aporte social es aquel que realiza de manera individual: el científico en su laboratorio.

Reconoce y valora la importancia de la Física.

3. ¿Qué significa la frase «la ciencia es acumulativa»? Explica a través de un ejemplo.

Vincula a la Física con otras ciencias.

4. Lee el ejemplo, luego escribe las ciencias que se relacionaron con la física para explicarlo.

El valor calorífico de los alimentos es transformado en trabajo por el organismo. La energía almacenada en los enlaces químicos de las sustancias que componen los alimentos se transforma en energía de movimiento. Esto puede explicarse a partir del principio de conservación de la energía que rige los procesos químicos y físicos que involucran la materia y la energía, independientemente de donde se produzcan.

Reconoce y valora la importancia de los aportes de los científicos.

5. ¿Por qué el trabajo de un científico debe ser planificado?

Reconoce y valora la importancia de los aportes de los científicos en el desarrollo tecnológico de la humanidad.

6. Investiga sobre algún científico que ha realizado un aporte beneficioso para la humanidad con algún descubrimiento.

Plantea hipótesis.

7. Escribe un fenómeno natural y plantea una hipótesis que te permita explicarlo.

## L Lección

Reconoce el comportamiento de ciertas sustancias.

1. Lee los comportamientos regulares de las sustancias y escribe otros parecidos.
  - **Calor - dilatación.** Cuanto más se calienta una varilla de metal, más se alarga, es decir que más se dilata.
  - **Presión - volumen.** Cuanto más se presiona una jeringuilla vacía, tapada por su extremo, menos volumen ocupa el aire de su interior.
  - **Calor - solubilidad.** Cuanto más caliente está el líquido en el que queremos disolver una sustancia sólida, más fácil se disuelve.
  - **Masa - fuerza.** Cuanto mayor es la masa de un cuerpo que está quieto, más fuerza hay que hacer para moverlo.
  - **Corriente - calor.** Cuanta más corriente eléctrica atraviesa una lámpara, más calor desprende.

Reconoce el comportamiento de ciertos cuerpos.

2. Encuentra otras regularidades. Por ejemplo:
  - **Bronceado - tiempo.** Bronceado de la piel respecto al tiempo de exposición al Sol.
  - **Volumen - masa.** Volumen de un globo respecto al aire que está en su interior.
  - **Temperatura - tiempo.** Temperatura que alcanzan los alimentos respecto al tiempo que están en el refrigerador.
  - **Tiempo - velocidad.** Tiempo de secado de la ropa respecto a la velocidad del viento.
  - **Tiempo - temperatura.** Tiempo de secado de la ropa respecto a la temperatura ambiente.
  - **Sol - latitud.** Horas de Sol respecto a latitud terrestre.
  - **Desgaste - distancia.** Desgaste de neumáticos con respecto a los kilómetros recorridos.

Reconoce el comportamiento de ciertas sustancias.

3. ¿Existirá alguna regularidad entre la presión que soporta un cuerpo sumergido y su profundidad?

## I Investiga

Encuentra diferencias entre dos sustancias conocidas.

1. ¿Qué diferencias existen entre el agua y en el aceite?

Vincula a la Física con otras ciencias experimentales.

2. ¿Cuáles de las siguientes variables influirán en el tiempo de ida y vuelta de un péndulo?
  - La masa de la bola que se cuelga.
  - La longitud del hilo con el que se sujetta.
  - El ángulo que se separa de la vertical para dejarlo caer.

# Sistema Internacional de Unidades

## Destreza con criterio de desempeño:

Establecer mecanismos simples y efectivos para convertir unidades a otras dimensionalmente equivalentes, desde el reconocimiento de las magnitudes físicas fundamentales y sus respectivas unidades del Sistema Internacional.

## Conocimientos previos

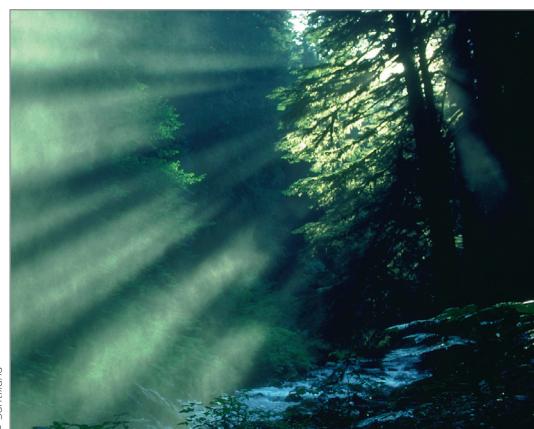
Cuando se mide con una regla graduada en centímetros, cuya menor división es el milímetro, se puede afirmar que el resultado es preciso hasta aproximadamente 0,1 cm.

Responde. ¿A qué crees que se debe que una medición no sea exacta?



© Santillana

Fig. 1.6. El Sol, un ejemplo de sistema físico.



© Santillana

Fig. 1.7 Un haz luminoso también es un ejemplo de sistema físico.

## SISTEMAS FÍSICOS

Sistema físico es cualquier agregado de objetos materiales vinculados entre sí. En todo sistema es posible definir unos límites, entre lo que está adentro del sistema y lo que está afuera de este.

Ejemplos de sistemas físicos son: una estrella (fig. 1.6), un haz luminoso (fig. 1.7), un átomo de cualquier elemento, un resorte, el sistema Tierra-Luna o un montaje experimental.

Las relaciones del sistema con su entorno son sumamente importantes para la descripción completa del mismo. Por ejemplo, si consideramos el sistema físico formado por un recipiente que contiene agua, la influencia de la temperatura del medio que lo rodea puede provocar que el agua hierva o que, por el contrario, se congele.

## MAGNITUDES FÍSICAS

En la descripción de un sistema físico, la medición es indispensable. Esta permite establecer relaciones cuantitativas entre las diversas variables que intervienen en el comportamiento del sistema.

Las propiedades que caracterizan a los cuerpos o a los fenómenos naturales y que son susceptibles de ser medidas, reciben el nombre de **magnitudes físicas**. Así, la longitud, la masa, la velocidad, el tiempo o la temperatura, entre otras, son ejemplos de magnitudes físicas.

Otras propiedades, como el olor, el sabor, la bondad, la belleza, no son magnitudes físicas, ya que no se pueden medir.

Entre las magnitudes físicas hay algunas que son independientes de las demás y reciben el nombre de **magnitudes fundamentales**. Son ejemplos de ellas la longitud, la masa y el tiempo.

Las magnitudes que se definen a partir de las magnitudes fundamentales reciben el nombre de **magnitudes derivadas**. Por ejemplo, cuando calculamos el volumen de una caja hacemos el producto del largo por el ancho por el alto; en consecuencia, decimos que la magnitud volumen se deriva de la magnitud longitud y que por tanto el volumen es una magnitud derivada.

## LA MEDICIÓN DE LAS MAGNITUDES FÍSICAS

Medir es comparar una magnitud física con una cantidad fija que se toma como patrón y que se denomina *unidad*. Así, la masa de un cuerpo se puede medir en una balanza de platillos, comparándola con la de otros cuerpos de masa conocida, que serían las unidades o patrones de medida.



MAGNITUDES Y UNIDADES DEL S.I.		
Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Intensidad de corriente	Amperio	A
Temperatura	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	Mol	mol
Intensidad luminosa	Candela	cd

Tabla 1.1. El Sistema Internacional adopta como básicas las siete magnitudes de la tabla.

Al medir una magnitud se obtiene un resultado que se expresa mediante un número y una unidad.

Por ejemplo, si se mide la masa ( $m$ ) de un automóvil y se toma como unidad el kilogramo (kg), el resultado debe expresarse de esta manera:  $m = 1\,150$  kg, donde el número 1 150 indica cuántas unidades (kilogramos en este caso) están contenidas en la magnitud medida (la masa del automóvil). Decir únicamente que la masa del automóvil es 1 150 no tendría significado, ya que podría tratarse de 1 150 gramos, 1 150 toneladas, etc.

### EL SISTEMA INTERNACIONAL

El Sistema Internacional de Unidades (S.I.) es el resultado de muchas reuniones de la llamada **Conferencia General de Pesas y Medidas**, que es una organización internacional con representación en la mayoría de los países.

En virtud de un acuerdo firmado en 1960, en la mayor parte del mundo se utiliza el Sistema Internacional. Las unidades básicas de este sistema aparecen en la Tabla 1.1.

En la tabla 1.2, se indican algunos prefijos empleados para las unidades del Sistema Internacional y el factor por el que se debe multiplicar cuando se utiliza cada uno de ellos. Por ejemplo, 3 kg equivalen a  $3 \cdot 10^3$  g, lo que es igual a 3 000 g. También, 5  $\mu\text{m}$  equivalen a  $5 \cdot 10^{-6}$  m, es decir, 0,000005 m.

Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo	Factor
giga	G	$10^9$ (mil millones)	centi	c	$10^{-2}$ (un centésimo)
mega	M	$10^6$ (un millón)	mili	m	$10^{-3}$ (un milésimo)
miria	ma	$10^4$ (diez mil)	micro	$\mu$	$10^{-6}$ (un millonésimo)
kilo	k	$10^3$ (mil)	nano	n	$10^{-9}$ (un millonésimo)
hecto	h	$10^2$ (cien)	pico	p	$10^{-12}$ (un billonésimo)
deca	da	$10^1$ (diez)	femto	f	$10^{-15}$ (un milbillonésimo)
deci	d	$10^{-1}$ (un décimo)	atto	a	$10^{-18}$ (un trillonésimo)

Tabla 1.2. Prefijos que se utilizan con las unidades del Sistema Internacional.

A continuación profundizaremos un poco más acerca de tres de las magnitudes fundamentales utilizadas en física, como son la masa, la longitud y el tiempo. Es importante tener presente que las unidades fundamentales han sido escogidas de manera arbitraria por la comunidad científica, teniendo en cuenta algunas condiciones de comodidad, reproducibilidad, accesibilidad y universalidad.

### La masa

El **kilogramo** (kg) es la unidad de masa en el Sistema Internacional. Un kilogramo, tal como fue definido en 1889, es la masa de un bloque de platino e iridio, bloque denominado *kilogramo patrón*, que equivale a la masa de 1 litro de agua a 4°C y a 1 atm de presión. El kilogramo patrón se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres.

Aunque la unidad de masa en el Sistema Internacional es el kilogramo, a veces es adecuado expresarla en otras unidades como los múltiplos y submúltiplos del kilogramo. Por ejemplo, la masa de un contenedor se acostumbra a expresar en toneladas (1 tonelada = 1 000 kg) y la cantidad de alguna sustancia contenida en un medicamento se expresa en miligramos (mg).

### Tc Trabajo cooperativo

Forma un grupo de tres compañeros y realicen las actividades.

- Estimen el valor de las siguientes medidas de longitud y elijan una unidad adecuada. La estatura de uno de tus compañeros, la distancia que hay de tu casa al colegio y el espesor de una hoja de este libro.
- Discutan por qué se tienen en cuenta, la comodidad, reproducibilidad, accesibilidad y universalidad para elegir una determinada unidad de medida.

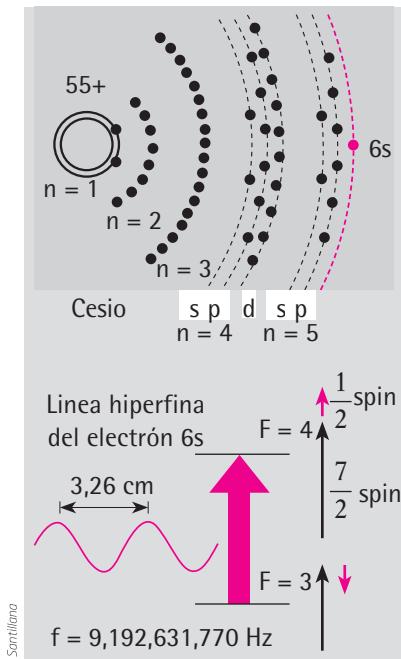


Fig. 1.8. Períodos de radiación de cesio-133

© Santillana



Fig. 1.9. Medida del tiempo

## La longitud

El **metro** (m) es la unidad usada para medir la longitud en el Sistema Internacional. Durante mucho tiempo, desde 1799, se tomó como definición internacional de metro la distancia que hay entre dos marcas hechas en una barra de platino e iridio, distancia denominada *metro patrón*, que se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres (París).

La idea inicial pretendía que la distancia entre estas marcas coincidiera con la diezmillonésima parte de un cuadrante de un meridiano terrestre.

Al definir de esta forma el metro se dieron cuenta de que cualquier material, aún el platino y el iridio, está sometido a dilataciones y contracciones por efecto de la temperatura. Por ello, a partir de 1982, las unidades básicas del Sistema Internacional se definen en función de constantes totalmente invariables, así:

**Un metro es la distancia que recorre la luz en el vacío en un tiempo de 1/299 972,458 de segundo.**

Aunque el metro es la unidad de longitud del Sistema Internacional, en ocasiones es necesario medir distancias muy grandes. Para ello se emplea el año luz, que equivale a la distancia que recorre la luz en un año.

## El tiempo

El **segundo** (s) es la unidad de tiempo en el Sistema Internacional.

Inicialmente, el segundo fue definido como la fracción 1/86 400 del día solar medio. Pero, debido a que la duración del día presenta pequeñas variaciones a lo largo del año, la definición actual de segundo adoptada en 1967 es la siguiente:

**Un segundo es la duración que tienen 9 192 631 770 períodos de radiación del cesio-133 (fig. 1.8).**

Con seguridad conoces otras unidades de tiempo diferentes al segundo. Se utilizan de acuerdo con la conveniencia respecto a los períodos de tiempo que se desean determinar.

Por ejemplo, para referirse al tiempo que tarda un planeta de nuestro sistema solar en dar una vuelta alrededor del Sol se utilizan los años o los días, pero para medir el tiempo que tarda una de las alas de un insecto en su ir y venir, se utilizan los milisegundos (ms). En otras situaciones se utilizan las décimas o centésimas de segundo (**fig. 1.9**).

## SISTEMA BRITÁNICO DE UNIDADES

Existen otros sistemas de unidades. Uno de ellos es el sistema británico de unidades, que se usa habitualmente en los Estados Unidos.

El pie (p) es la unidad de longitud en este sistema y equivale a 30,48 centímetros. Otras unidades comunes de longitud son: la pulgada (pul), que equivale a 2,54 centímetros y la milla (mi), que equivale a 1 609 kilómetros.

El slug es la unidad de masa y equivale a 14,59 kilogramos.

La unidad de tiempo en el sistema británico, al igual que en el Sistema Internacional, es el segundo. En la tabla 1.3 se presentan las unidades en el sistema británico.

## Tarea

Consigue diferentes objetos en los cuales se indique la masa y observa su valor. Compara unos con otros.

Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	pie	p
Tiempo	segundos	s
Masa	slug	slug

Tabla 1.3. Magnitudes del sistema inglés.



## CONVERSIÓN DE UNIDADES

Algunas cantidades se pueden expresar en diferentes unidades de medida. Por ejemplo, determinar a cuántos kilómetros equivalen 3 585 m o a cuántos minutos equivale 14 horas. Al realizar algunas conversión de unidades muchas veces solo se requiere realizar un cálculo mental; en otras es necesario la utilización de los factores de conversión que facilitan la expresión de una misma cantidad física en unidades diferentes.

Los factores de conversión se utilizan cuando se establece proporcionalidad entre las unidades. Por ejemplo, un slug equivale a 14,59 kg. En consecuencia, para convertir 30 kg en  $x$  slug, escribimos la proporción:

$$\frac{1 \text{ slug}}{14,59 \text{ kg}} = \frac{x}{30 \text{ kg}} \quad x = \frac{30 \text{ kg} \cdot 1 \text{ slug}}{14,59 \text{ kg}} \quad \text{Al despejar } x, \quad x = 2,06 \text{ slug}$$

La misma conversión se puede realizar de la siguiente manera:

$$30 \text{ kg} \cdot \left| \frac{1 \text{ slug}}{14,59 \text{ kg}} \right| = 2,06 \text{ kg}$$

A la expresión  $1 \text{ slug} = 14,59 \text{ kg}$  se le denomina factor de conversión.

En un factor de conversión se establece un cociente entre la unidad de un sistema y su equivalencia en otro sistema o en otra unidad del mismo sistema.



© Santillana

Fig. 1.10. Si la medida que expresamos en este caso es 58,3 cm, el 3 es dudoso.

### Ejemplos

1. En el comercio se consiguen reglas graduadas en centímetros y en pulgadas. Determinar la medida en pulgadas de una regla de 30 cm.

#### Solución

Como 1 pulgada equivale a 2,54 cm, la conversión que se establece es:

$$30 \text{ cm} \left| \frac{1 \text{ pul}}{2,54 \text{ cm}} \right| = 11,81 \text{ pul}$$

La longitud de una regla de 30 centímetros, expresada en pulgadas, es 11,81 pul.

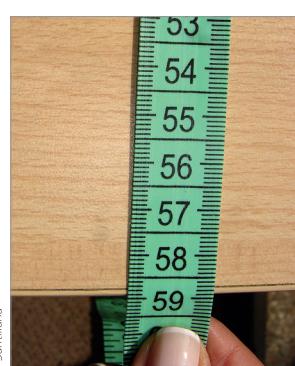
2. Se ha tomado la medida del frente de un terreno, se conoce que es 3 420 pul, y se necesita conocer este valor en kilómetros.

#### Solución

Para la conversión de unidades se utilizarán los diferentes factores de conversión mediante una galera.

$$3 420 \text{ pul} \left| \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ pul}} \right| \left| \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right| \left| \frac{1 \text{ km}}{1 000 \text{ m}} \right| = 3 420 \text{ pul} = 0,086 \text{ km}$$

La longitud del frente del terreno es de 0,086 km.



© Santillana

Fig. 1.11. Si la medida que expresamos en este caso es 583,5 mm, el 5 es dudoso.

## LAS CIFRAS SIGNIFICATIVAS

Observa la figura 1.10, si con una cinta métrica graduada en centímetros se determina la longitud de una mesa de trabajo, se podría afirmar que dicha longitud es de 58,3 cm. Al hacer esta medición, estamos seguros de las cifras 5 y 8, pero la cifra 3 es dudosa. A las cifras ciertas y la primera cifra dudosa obtenidas en una medición se les denomina **cifras significativas**. En la figura 1.11, si la medida se realiza con una cinta métrica graduada en milímetros, se podría afirmar que la medida es, por ejemplo, 583,5 mm; en este caso, las cifras ciertas son el 5, el 8 y el 3, pero la cifra 5 es dudosa. En este caso decimos que la medición tiene cuatro cifras significativas.

### Ejemplo

Un cilindro de aluminio cuyo radio de la base mide 1,25 cm y su altura mide 4,63 cm, al ser colocado sobre la balanza registra una masa de 61,3 g. Determinar la densidad del aluminio si se sabe que esta se calcula como el cociente entre la masa y el volumen.

#### Solución

Para calcular el volumen de un cilindro aplicamos:

$$V = \pi r^2 h, \text{ donde } r \text{ es el radio y } h \text{ la altura del cilindro. Por tanto, } V = 3,14 \cdot (1,25 \text{ cm})^2 \cdot 4,63 \text{ cm} = 22,7 \text{ cm}^3$$

Aunque el resultado de la calculadora es 22,7159375, lo redondeamos a 22,7, ya que tanto en el radio como en la altura se tienen tres cifras significativas y el resultado no debe expresarse con un número mayor de ellas, pues esto implicaría que las operaciones matemáticas aumentan la precisión de una medición, lo cual no tiene sentido.

Ahora, la densidad está dada por

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}, \text{ de donde, densidad} = \frac{61,3 \text{ g}}{22,7 \text{ cm}^3} = 2,70 \text{ g/cm}^3$$

Entonces, la densidad del aluminio es 2,70 gramos por centímetro cúbico.

### Ti Trabajo individual

Imagina que tienes una esfera de acero de radio 0,85 cm cuya masa es de 20,3 g. Determina la densidad del acero. Ten en cuenta el número de cifras significativas. El volumen de una esfera está dado por  $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ .



© Santillana

Fig. 1.12. La Vía Láctea es la galaxia en la cual se ubica nuestro planeta.

## LA NOTACIÓN CIENTÍFICA Y USO DE PREFIJOS

Como resultado de los cálculos matemáticos aparecen magnitudes físicas que toman valores muy grandes o, por el contrario, en otras ocasiones aparecen valores de medidas que, cuando se las compara con la unidad patrón, toman un valor muy pequeño. Para expresar el valor numérico de dichas magnitudes, se suele emplear un lenguaje numérico basado en la expresión de una cantidad dada en términos de la potencia de 10 multiplicado por las cifras significativas, para obtener dicha cantidad. Este tipo de expresión numérica se conoce con el nombre de **notación científica**.

Al escribir una cantidad utilizando la notación científica, se colocan las cifras significativas con una parte entera (comprendida entre 1 y 9) y otra parte decimal, multiplicada por la correspondiente potencia de 10 con exponente positivo (para los valores grandes) o con exponente negativo (para los valores pequeños). Por ejemplo, la masa de un electrón es  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg, mientras que la masa de la Tierra es de  $6,0 \cdot 10^{24}$  kg. La notación científica permite escribir los valores de una determinada magnitud física en forma sencilla.

### Ejemplo

El sistema solar pertenece a una galaxia conocida como la Vía Láctea. El Sol se encuentra a 30 000 años luz del centro de la galaxia. Determina la distancia del Sol al centro de la galaxia en kilómetros y expresa el valor en notación científica.

#### Solución

Un año luz es la distancia que recorre la luz en un año. La luz recorre 300 000 000 metros en un segundo, es decir, recorre  $3,0 \cdot 10^8$  metros en un segundo. Como un año equivale a 31 536 000 segundos, tenemos que:

$$1 \text{ año luz} = \text{velocidad de la luz} \cdot \text{un año}$$

$$1 \text{ año luz} = (3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}) \cdot (31 536 000 \text{ s})$$

$$1 \text{ año luz} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Al remplazar

Al calcular

Por tanto, 30 000 años luz equivalen a  $(3 \cdot 10^4 \text{ años luz}) (9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}) = 2,8 \cdot 10^{20} \text{ m}$ .

La distancia que separa el Sol del centro de la Vía Láctea es  $2,8 \cdot 10^{20}$  m, correspondiente al número 280 000 000 000 000 000.



## Tarea

Resuelve. La velocidad de un objeto al caer varía en 9,8 m/s cada vez que transcurre un segundo. Decimos que la aceleración es la variación de la velocidad por segundo. ¿En qué unidades se expresa la aceleración? Justifica por qué la aceleración es una magnitud derivada.

## CÓMO INTERPRETAR LAS UNIDADES DE MEDIDA

Analicemos con más detalle el ejemplo de la página anterior.

Obtuvimos la densidad del aluminio: 2,70 g/cm<sup>3</sup>. Este dato permite concluir que la masa de cada cm<sup>3</sup> de aluminio es de 2,70 g.

Observa cómo se interpreta la unidad g/cm<sup>3</sup>, por ejemplo, si la densidad del hierro es de 7,9 g/cm<sup>3</sup>, podemos interpretar que cada cm<sup>3</sup> de hierro tiene una masa de 7,9 g.

La densidad es una magnitud derivada pues para su definición se utilizan las magnitudes masa y volumen, y este último es a su vez una magnitud derivada de la longitud.

### Ejemplo

1. Si la luz recorre  $2,998 \cdot 10^5$  kilómetros en un segundo, ¿qué distancia nos separa de la estrella Beta Andromedae, la cual se encuentra a 65 años luz de la Tierra?

#### Solución

Como la estrella Beta Andromedae está a 65 años luz de la Tierra, la luz tarda 65 años en recorrer la distancia que nos separa de la estrella, esto es:

$$65 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 2,05 \cdot 10^9$$

De donde podemos deducir que la distancia que nos separa de la estrella es de:

$$2,05 \cdot 10^9 \cdot 2,998 \cdot 10^5 = 6,12 \cdot 10^{14} \text{ km}$$

2. El sonido viaja en el aire con una velocidad de 340 m/s. Interpretar el valor de esta velocidad.

#### Solución

Si la velocidad del sonido es 340 m/s, podemos interpretar que 1 segundo después de generar un sonido, este se ha propagado 340 m, a partir del sitio en el cual se produjo. Observa que la velocidad es una magnitud derivada puesto que para su definición se vale de las magnitudes fundamentales longitud y tiempo.

## ANÁLISIS DIMENSIONAL

La dimensión de una magnitud hace referencia a las cantidades básicas que la constituyen, expresando así su naturaleza física. Por ejemplo, la dimensión de distancia es la longitud, independiente de la unidad en que esté expresada esta distancia.

Los símbolos que se utilizan para especificar las dimensiones de longitud, masa y tiempo son L, M y T, respectivamente. Cada vez que se realiza un ejercicio donde intervengan dimensiones, se puede realizar un análisis dimensional que ayuda a comprobar si una relación es incorrecta, y esto es posible ya que las dimensiones pueden ser tratadas como cantidades algebraicas.

Por ejemplo, si se quiere hacer un análisis de la siguiente ecuación de posición:

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

Se sabe que:

Las dimensiones de la aceleración (a) se escriben como:  $a = [L/T^2]$

La posición x tiene la dimensión de longitud L, entonces, la forma dimensional de la ecuación de posición es:

$$L = \frac{L}{T^2} \cdot T^2 \quad \text{Al simplificar dimensiones iguales} \quad L = L$$

La comprobación dimensional resulta correcta, sin embargo, ello no prueba que la ecuación esté bien, ya que el factor numérico adimensional 1/2 podría estar equivocado.



## Recuerda

Dos cantidades se pueden sumar o restar solo si tienen las mismas dimensiones, y la relación puede ser correcta solo si las dimensiones en ambos lados de la ecuación son iguales.

## Tarea

Verifica si la siguiente ecuación es dimensionalmente correcta:

$$v^2 = v_0^2 + 2 a \cdot t$$

Donde:  $v$  es velocidad,  $a$  es aceleración y  $t$  es tiempo.

La siguiente tabla muestra algunas dimensiones de magnitudes físicas conocidas:

Magnitud física	Área	Volumen	Velocidad	Aceleración
Dimensión	$L^2$	$L^3$	$\frac{L}{T}$	$\frac{L}{T^2}$

### Ejemplo

Comprobar si la expresión  $v = a \cdot t^2$  es dimensionalmente correcta.

#### Solución

Como se sabe,  $v$  y  $a$  tienen dimensiones de longitud y tiempo iguales a:

$$[v] = \frac{L}{T} \quad [a] = \frac{L}{T^2}$$

Entonces, la forma dimensional de la ecuación será:

$$\frac{L}{T} = \frac{L}{T^2} \cdot T^2 \quad \text{Al simplificar dimensiones iguales} \quad \frac{L}{T} = L$$

Por lo tanto, la expresión  $v = a \cdot t^2$  es dimensionalmente incorrecta.

## Tratamiento de errores

### Destreza con criterio de desempeño:

Integrar la teoría de errores en la realización de mediciones.

Aunque las mediciones se realicen con mucho cuidado, no son absolutamente precisas, esto se debe a que todo instrumento de medición tiene una exactitud limitada que se relaciona con la imposibilidad de leer más allá de cierta fracción de la división más pequeña que este tiene. Por ejemplo, cuando se mide con una regla graduada en centímetros, cuya menor división es el milímetro, se puede afirmar que el resultado es preciso hasta aproximadamente 0,1 cm.

Al medir se pueden presentar dos clases de errores que no son atribuidos al experimentador: sistemáticos o aleatorios.

Los **errores sistemáticos** se producen por limitaciones del equipo utilizado o por deficiencias en el diseño experimental. Suele suceder que se presente este tipo de errores cuando se repite el experimento exactamente de la misma manera.

Por ejemplo, la medida de +105 V, realizada con un voltímetro que marca -5 V. cuando sus extremos están cortocircuitados (y debería por tanto marcar 0), indica que la tensión es de 110 V.

Los **errores aleatorios** se originan por causas que no se pueden controlar en cada medida. Por ejemplo, si diferentes personas midieran el espesor de un libro con una regla graduada en milímetros, obtendrían diferentes valores, ya que la apreciación de la última cifra significativa podría ser distinta.

Nos referimos a la **precisión de una medición** cuando al repetirse dicha medición varias veces, existe concordancia entre los valores obtenidos. Cuando en la repetición de la medida la variación entre los valores obtenidos aumenta, a ésta se le atribuye una menor precisión. Por otra parte, mencionamos la exactitud de una medida al expresar la proximidad de ésta con determinado valor de referencia, relacionando la cercanía del valor medido al valor conocido.

Por ejemplo, cuando se determina experimentalmente la densidad del cobre, el valor obtenido tendrá mayor exactitud cuanto más se aproxime a  $8,96 \text{ g/cm}^3$ .

A partir de la diferencia entre el valor obtenido en la medición y el valor de referencia, se definen dos tipos de errores: el absoluto y el relativo.

**Error absoluto:** es el valor absoluto de la diferencia entre el valor obtenido en una medición y el valor que se toma como referencia.

Error absoluto =  $| \text{Valor obtenido} - \text{Valor de referencia} |$



**Error relativo:** es el cociente entre el error absoluto y el valor que se toma como referencia de la medida.

$$\text{Error relativo} = \frac{|\text{Valor obtenido} - \text{Valor de referencia}|}{\text{Valor de referencia}}$$

Se obtiene una medida más precisa de una magnitud cuando se realizan varias mediciones; sin embargo, es posible que en cada medición se obtenga una diferencia con respecto al valor esperado o valor de referencia. Por esta razón, es conveniente calcular el error en que se incurre en un conjunto de varias mediciones.

La estadística nos permite calcular el valor promedio de los valores obtenidos en una serie de mediciones mediante el cálculo de la media aritmética.

Por ejemplo. Si una medida se realiza ocho veces y se obtienen los valores  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  y  $x_8$ , el valor promedio se obtiene mediante la expresión:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8}{8}$$

Por otra parte, es importante establecer qué tanto se alejan los datos tomados con respecto al promedio. Para ello, se calcula la desviación media, la cual se determina mediante la siguiente expresión:

$$DM = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + \dots + |x_n - \bar{x}|}{n}$$

El resultado de la medición se expresa como:  $x \pm DM$

Se acostumbra a determinar el error relativo como:  $\text{Error relativo} = \frac{DM}{x}$

Es usual expresar el error relativo en términos de porcentaje.

### Ejemplo

Una hoja de cuaderno se mide cuatro veces y se obtiene los siguientes resultados: 5,4 cm; 5,7 cm; 5,3 cm y 5,2 cm.

- Determinar el valor promedio de los datos.
- Determinar la desviación media.
- Expresar el resultado de la medición y el error relativo.

#### Solución

- El valor promedio se calcula así:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4}$$

$$\bar{x} = \frac{5,4 + 5,7 + 5,3 + 5,2}{4}$$

$$\bar{x} = 5,4$$

Al remplazar, calcular

- La desviación media se calcula a partir de:

$$DM = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + |x_3 - \bar{x}| + |x_4 - \bar{x}|}{4}$$

$$DM = \frac{|5,4 - 5,4| + |5,7 - 5,4| + |5,3 - 5,4| + |5,2 - 5,4|}{4}$$

$$DM = \frac{0,6}{4} = 0,15 \text{ cm}$$

Al remplazar, calcular

La medida de la hoja se expresa como  $5,4 \pm 0,15$  y el error relativo es:

$$\text{Error relativo} = \frac{DM}{x} = \frac{0,15}{5,4} = 0,028$$

El error relativo 0,02778 se expresa en términos de porcentaje como  $\frac{0,15}{5,4} \cdot 100\% = 2,8\%$

El error relativo se lo encuentra dividiendo el valor del error absoluto para el valor que se toma como referencia de la medida.



# Problemas de ampliación

Reconoce y valora la importancia del conocimiento de las unidades de medidas.

1. Lee el siguiente texto y realiza algunas observaciones acerca de la precisión en las medidas de longitud.

«El metro ideal es independiente de la temperatura; pero el real solo es un metro a una temperatura determinada, puesto que los materiales están sujetos a la dilatación térmica. Cuando la técnica hace necesaria una mayor precisión, las definiciones del metro varían de una forma pragmática, pero no su valor.

En nuestra vida cotidiana, nos basta con un metro de mil milímetros, pero para medir una carretera no precisamos un kilómetro de un millón de milímetros.

Sin embargo, a la hora de determinar el ancho de la placa de nuestro carro, un metro de mil milímetros ya es impreciso y nos resulta inservible para medir la capa de pintura que debe recubrirla». Tomado de Lorenzo José Antonio. «Pero, ¿cuánto mide un metro?», Muy Interesante, Bogotá, año 13, No. 151, pp. 19-23.

Ordene las medidas de longitud.

2. Ordene las siguientes medidas de longitud de menor a mayor.

- a. El radio del átomo de hidrógeno:  $5 \cdot 10^{-11}$  m.
- b. El espesor de una hoja de papel:  $1,1 \cdot 10^{-4}$  m.
- c. La longitud de onda de la luz amarilla:  $5,75 \cdot 10^{-9}$  m.

Interpreta unidades de medida.

3. Una de las especificaciones para describir un automóvil es 13,2 kg/HP. Los caballos de potencia (HP) son unidades de potencia. ¿Cómo interpretas esta especificación?

Aplica la estrategia de solución del problema.

4. En las indicaciones de un medicamento pediátrico, se lee «Dosis: 7 ml/kg al día». ¿Qué cantidad en ml debería ser medicada a un niño de 15 kg de masa?

Aplica un algoritmo de solución del problema.

5. ¿Cómo medirías el área de una figura irregular? Por ejemplo, determina el área de la planta de uno de tus pies.
6. Considera que la Tierra es una esfera perfecta y calcula su volumen. El radio de la Tierra es de  $6,4 \cdot 10^6$  m.

7. Determina con el radio de la Tierra, la superficie de la misma.

8. Calcula el volumen de tu habitación. Consulta en la factura del servicio de agua el número de metros cúbicos que se consumen en tu casa. Luego, determina si sería posible llenar tu habitación con el agua que se consume en tu casa durante un mes.

9. Para determinar la densidad de un material se pesa un trozo del mismo en una balanza electrónica, resultando 15,2500 g y al medir su volumen por desplazamiento en una probeta, se obtienen  $30,0 \text{ cm}^3$ . ( $d = \frac{m}{v}$ ). Determina la densidad, teniendo en cuenta el número de cifras significativas.

10. Se quiere medir el tiempo en el cual un péndulo en su movimiento de vaivén va de un lado de su trayectoria hasta el otro. ¿Cómo crees que se obtiene una medida más fiable: midiendo directamente el tiempo o midiendo el tiempo en el que va 20 veces de un lado hasta el otro y dividiendo el resultado obtenido entre 20? Explica tu respuesta.

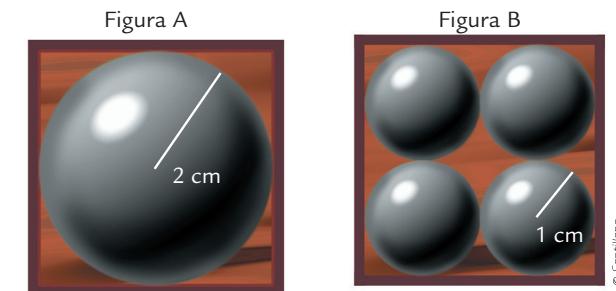
Emplea los instrumentos de medición de forma correcta.

11. Diseña un método que te permita medir el diámetro de un alambre, utilizando una regla graduada y un lápiz.

12. Describe el método que utilizarías para determinar el espesor de una de las hojas de este libro.

Resuelve problemas relacionados con magnitudes físicas.

13. La figura A muestra la vista lateral de una esfera de radio 2 cm dentro de una caja que



la ajusta. La figura B muestra una caja igual, llena de esferas de 1 cm de radio.

- a. ¿Cuántas esferas de radio 1 cm puedes colocar dentro de la misma caja?
- b. ¿En qué caso es mayor el espacio vacío?



Razona conceptos relacionados con la construcción de la ciencia.

### 1. Responde.

- ¿Cómo se relacionan la física y la matemática?
- ¿Por qué conceptos como la belleza, la bondad y la caridad no pueden investigarse desde la física?
- ¿Qué significa la frase «la ciencia es acumulativa»? Explica a través de un ejemplo.

Realiza descripciones relacionadas con el estudio del método científico.

### 3. Expresa dos razones por las cuales la física se relaciona con la química.

Reconoce y valora la importancia de los aportes de los científicos en el desarrollo tecnológico de la humanidad.

### 4. Galileo Galilei al efectuar alguno de sus experimentos de mecánica hizo un conteo de sus pulsaciones para medir el tiempo. ¿Qué desventajas le encuentras a este método?

### 5. Indica qué pasos seguirías para desarrollar un estudio acerca de:

- El comportamiento de cierto tipo de microorganismo.
- La variación de la temperatura de alguna sustancia.

Reconoce y valora la importancia de los aportes de los científicos.

### 6. Analiza la siguiente afirmación: si una hipótesis es científica, debe existir una manera de probar que es errónea.

Describe la importancia de la Física.

### 7. ¿En qué crees que puede contribuir la física en el desarrollo de los individuos y de la sociedad?

Analiza el valor de verdad de enunciados.

### 8. Escribe el tipo de relación que tiene el enunciado.

Cuando se triplica la rapidez de un carro, el tiempo empleado en recorrer la misma distancia se reduce a la tercera parte.

Identifica situaciones relacionadas con magnitudes físicas.

### 9. Si en la expresión $E = mc^2$ el valor de $c$ se duplica, ¿Qué pasa con el valor de $E$ ?

### 10. Se cuelgan del techo dos resortes idénticos. Si en cada uno de ellos se cuelga un objeto, uno se estira más que el otro. ¿Qué se puede decir de las masas de los objetos?

## L Lección

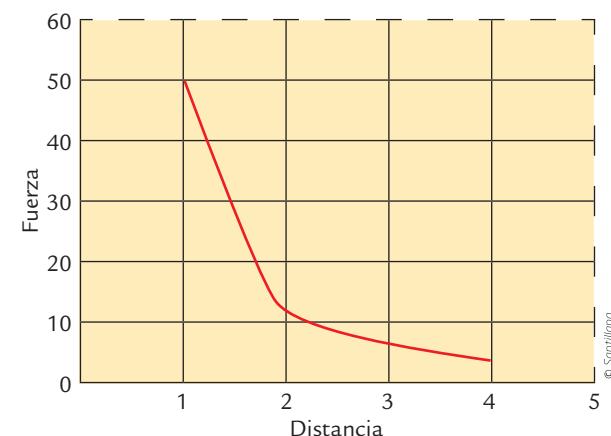
Analiza el valor de verdad de enunciados.

- Lee cada enunciado, escoge los que son verdaderos. Justifica tu respuesta.
  - Dos cantidades son directamente proporcionales cuando al aumentar una, también aumenta la otra.
  - Un aspecto importante de la experimentación es la medición.
  - Las leyes empíricas solo se deducen matemáticamente.
  - Dos cantidades son inversamente proporcionales cuando al disminuir una, también disminuye la otra.
  - Medir significa comparar con un patrón fundamental.

Identifica situaciones relacionadas con magnitudes físicas.

### 2. Observa la gráfica y escoge la relación correcta.

Fuerza que se ejercen dos cargas eléctricas en función de la distancia entre ellas.



- La fuerza y la distancia son directamente proporcionales.
- La fuerza y la distancia son inversamente proporcionales.
- La fuerza es directamente proporcional a la distancia al cuadrado.
- La fuerza es inversamente proporcional a la distancia al cuadrado.

## I Investiga

Razona conceptos relacionados con la construcción de la ciencia.

Plantea un ejemplo de cómo investigarías acerca de la variación de la temperatura durante un día en tu ciudad.

# Funciones y gráficas

## Destreza con criterio de desempeño:

Diferenciar magnitudes escalares y vectoriales, con base en la aplicación de procedimientos específicos para su manejo que incluyen a los conceptos trigonométricos integrados al manejo de vectores.

## Conocimientos previos

Si una persona camina 6 km en dirección este, gira y camina otros 4 km 30° al noreste y finalmente camina 2,0 km al norte, la representación gráfica sería la siguiente.

Responde. ¿Cuánto mide el vector desplazamiento?

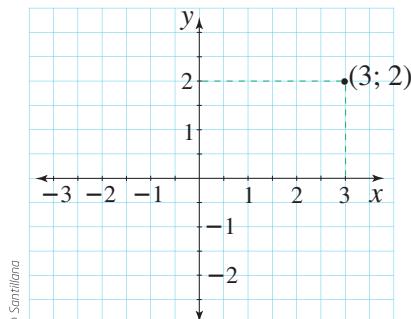
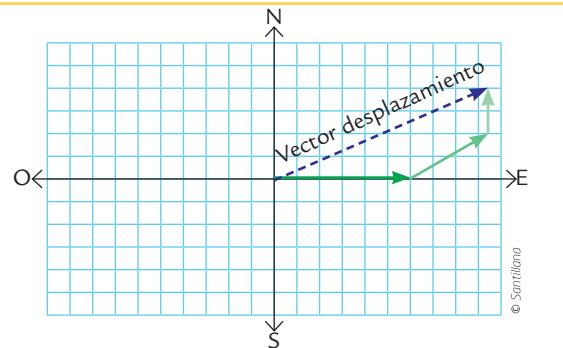


Fig. 1.13. En el plano cartesiano a cada punto le corresponde un par ordenado.

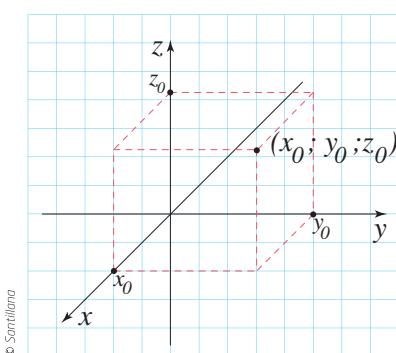
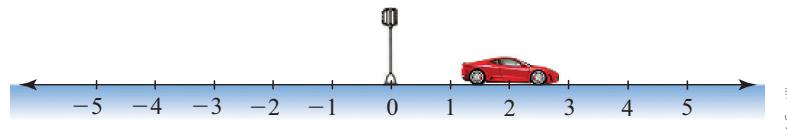


Fig. 1.14. En la representación gráfica de tres dimensiones se representan puntos en el espacio.

## SISTEMAS COORDENADOS

En la mayoría de estudios es necesario efectuar medidas relacionadas con los factores que intervienen en un fenómeno. Los datos que se obtienen de las mediciones, en lo posible, se presentan por medio de representaciones gráficas que pueden ser en una dimensión, en dos dimensiones o en tres dimensiones.

En una dimensión se representan los valores de una variable sobre la recta de los números reales. Por ejemplo, la posición de un objeto que se mueve en línea recta se puede representar sobre una recta, como se muestra en la siguiente figura:



En dos dimensiones se utiliza el plano cartesiano (fig. 1.13), en el que a cada punto le corresponde un par ordenado. Este tipo de representación es muy útil para analizar los datos obtenidos en un experimento o para relacionar variables.

En tres dimensiones se representan puntos en el espacio, lo cual se realiza por medio de un sistema de tres ejes coordenados, perpendiculares entre sí, llamados **eje x**, **eje y** y **eje z**. En este caso, a cada punto del espacio le corresponde una terna  $(x, y, z)$ , como se muestra en la figura 1.14.

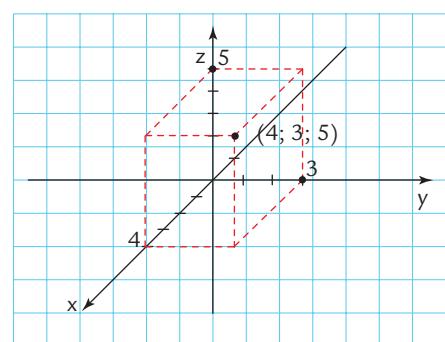
Este tipo de representación es útil, por ejemplo, para describir el movimiento de un objeto que se mueve en el espacio; se utilizan los tres ejes coordenados.

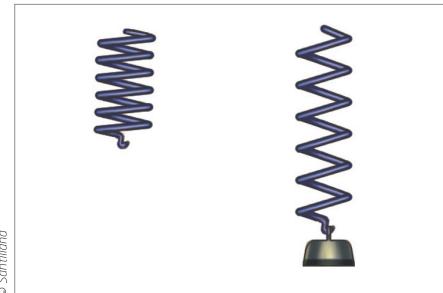
## Ejemplo

Representar gráficamente en el espacio el punto  $(4; 3; 5)$ .

### Solución

Para representar el punto  $(4; 3; 5)$  se ubica sobre el eje x el punto cuya coordenada es 4, y sobre el eje y el punto cuya coordenada es 3. Se trazan segmentos paralelos a los ejes x y y. Luego, se traza un segmento paralelo al eje z de longitud 5 unidades.





© Santillana

Fig. 1.15. Al colgar un objeto de un resorte se produce un alargamiento. Es posible encontrar la relación matemática entre la masa del objeto y el alargamiento producido en el resorte.



### Tarea

Calcula a partir de los valores de la tabla el cociente entre un valor de una variable y el respectivo valor de la otra variable. ¿Qué encuentras?

## LAS VARIABLES EN UN EXPERIMENTO

Una vez determinados los factores que intervienen en la ocurrencia de un fenómeno, a los cuales se les llama **variables**, se escogen unos que se mantienen constantes, mientras que otros se manipulan de diversas maneras. De esta manera, estamos **controlando** las variables que consideramos relevantes para la simulación del fenómeno. Al realizar el experimento se estudia la forma en que varía una magnitud, llamada **variable dependiente**, cuando se producen cambios en otra, llamada **variable independiente**.

Para ilustrar la forma en que se hace un tratamiento de datos consideremos el estudio del alargamiento de un resorte cuando se suspenden pesas en su extremo (fig. 1.15). En este caso, la longitud de alargamiento del resorte es la variable dependiente, la masa del objeto que colgamos es la variable independiente y la elasticidad del resorte es una variable controlada que mantenemos constante, pues empleamos el mismo resorte.

## LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICAS

Una vez obtenidos los resultados es muy útil presentar los datos en tablas:

Masa del cuerpo colgada (g)	10	15	20	25	30	35
Alargamiento (cm)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0

Se acostumbra a presentar los datos gráficamente, de tal forma que a la variable independiente le asignamos el eje horizontal, mientras que a la variable dependiente se le asigna el eje vertical (fig. 1.16).

En la gráfica de la figura 4 podemos observar que cuanto mayor es la masa del objeto que colgamos del resorte, mayor es su alargamiento ( $A$ ).

Además, al duplicar la masa, el alargamiento se duplica, al triplicar la masa, el alargamiento se triplica, etc. Los datos muestran que entre la masa y el alargamiento es posible establecer una relación de **proporcionalidad directa**.

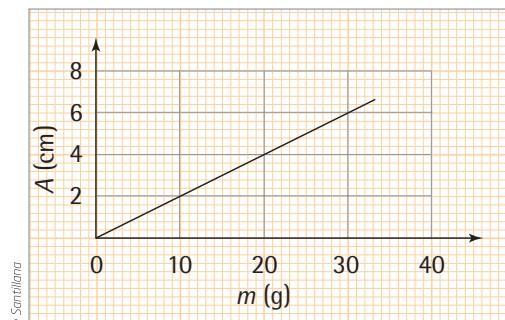


Fig. 1.16. La masa del cuerpo colgada del resorte y el alargamiento son directamente proporcionales.



### Recuerda

Una función  $f$  es una relación que asigna, a cada elemento  $x$  de un conjunto  $X$ , un único elemento  $y$  de un conjunto  $Y$ .

El alargamiento  $A$  del resorte depende de la masa  $m$  del cuerpo que se cuelga.

Es importante anotar que, a partir de la gráfica, se puede analizar el comportamiento de la función.

## PROPORCIONALIDAD DIRECTA

Dos magnitudes son directamente proporcionales si la razón entre cada valor de una de ellas y el respectivo valor de la otra es igual a una constante. A la constante se le llama **constante de proporcionalidad**.

Si dos magnitudes,  $x$  y  $y$ , son directamente proporcionales, se cumple que:

El cociente entre ellas siempre es constante, es decir  $\frac{y}{x} = k$ , donde  $k$  se denomina **constante de proporcionalidad**.

Sus valores se relacionan mediante la expresión  $y = k \cdot x$ .

De la gráfica presentada en la página anterior (fig. 1.16), al dividir el alargamiento entre el respectivo valor de la masa siempre se obtiene el mismo valor.

### Ejemplo

Un tren avanza 40 km hacia el norte cada vez que transcurre una hora.

- Elaborar una tabla de valores para la distancia recorrida en los tiempos 1, 2, 3, 4 y 5 horas.
- Determinar la razón entre cada distancia y su respectivo tiempo. ¿Las variables distancia y tiempo son directamente proporcionales?
- Realizar la gráfica que representa los valores de las variables.

### Solución

- El tiempo y la distancia que recorre se representan en la siguiente tabla.

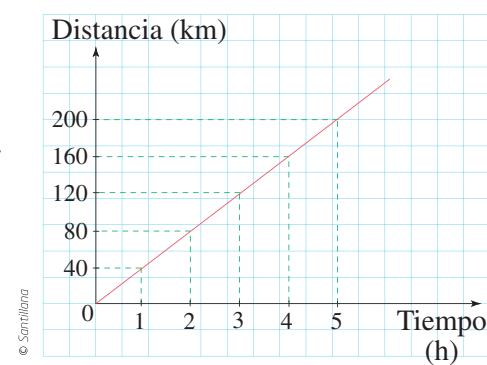
Tiempo (horas)	1	2	3	4	5
Distancia (kilómetros)	40	80	120	160	200

- La razón entre cada valor de la distancia y su respectivo valor del tiempo se obtiene así:

$$\frac{40}{1} = 40, \frac{80}{2} = 40, \frac{120}{3} = 40, \frac{160}{4} = 40 \text{ y } \frac{200}{5} = 40$$

Las magnitudes distancia recorrida y tiempo son directamente proporcionales, porque la razón entre sus respectivos valores es constante e igual a 40. Es decir, la constante de proporcionalidad es 40 km/h.

- En la figura se puede observar la representación gráfica de la función que relaciona las variables distancia y tiempo.



### Recuerda

La pendiente de la recta que pasa por los puntos  $(x_1; y_1)$  y  $(x_2; y_2)$  en el plano cartesiano se define como

$$\text{Pendiente} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Al representar, en el plano cartesiano, dos magnitudes directamente proporcionales se obtiene una recta que pasa por el origen. El valor de la pendiente de esta recta corresponde a la constante de proporcionalidad.



En el ejemplo del tren de la página anterior, los valores de la distancia recorrida y el tiempo se pueden relacionar mediante la expresión  $d = 40 t$ . Observemos que la pendiente de la recta es

$$\text{Pendiente} = \frac{200 \text{ m} - 0 \text{ m}}{5 \text{ h} - 0 \text{ h}} = 40 \text{ m/h}$$

## PROPORCIONALIDAD INVERSA

Dos magnitudes son inversamente proporcionales cuando el producto de cada valor de una magnitud por el respectivo valor de la otra es igual a una constante, llamada **constante de proporcionalidad inversa**.

Por ejemplo, el tiempo,  $t$ , y la velocidad,  $v$ , empleados en recorrer determinada distancia son magnitudes inversamente proporcionales. A medida que la velocidad aumenta, el tiempo que emplea en el recorrido disminuye, de tal manera que, si la velocidad se duplica, el tiempo se reduce a la mitad; si la velocidad se triplica, el tiempo se reduce a la tercera parte; y así sucesivamente.

Si dos magnitudes,  $x$  y  $y$ , son inversamente proporcionales, se cumple que:

El producto entre ellas es constante, es decir  $x \cdot y = k$ , donde  $k$  es la constante de proporcionalidad inversa.

Sus valores se relacionan mediante la expresión  $y = \frac{k}{x}$ .

### Ejemplo

Se desea cortar placas rectangulares cuya área sea igual a  $36 \text{ cm}^2$ .

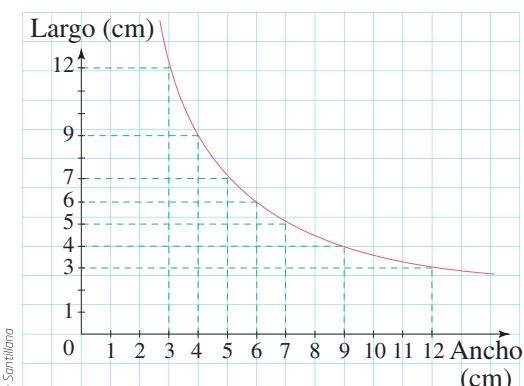
- Elaborar la tabla que muestra los posibles valores para el largo y el ancho de las placas.
- Determinar la relación entre el largo,  $l$ , y el ancho,  $a$ , de los rectángulos.
- Determinar la expresión matemática que relaciona el largo y el ancho de las placas.
- Realizar la gráfica que representa los valores del largo y el ancho.

#### Solución

- Una tabla de valores podría ser la siguiente:

Largo (cm)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,2	9,0	12,0
Ancho (cm)	12,0	9,0	7,2	6,0	5,0	4,0	3,0

- Observamos que, cuando el largo del rectángulo aumenta, el ancho disminuye. Además, es posible observar que, al duplicar el largo, el ancho disminuye a la mitad; al triplicar el largo, el ancho disminuye a la tercera parte; etc. Así, entre el largo y el ancho de las placas de área  $36 \text{ cm}^2$ , podemos establecer una relación de proporcionalidad inversa.



- El producto del largo,  $l$ , por el ancho,  $a$ , siempre toma el mismo valor, 36. Por tanto,  $l \cdot a = 36$ .

- Al representar los datos en el plano cartesiano obtenemos la gráfica que se muestra.

Si el valor del producto de una magnitud con el valor de otra es una constante, la proporción es inversa.



## OTRAS RELACIONES ENTRE VARIABLES

### RELACIÓN GRÁFICA DE UNA LÍNEA RECTA

Algunas variables se relacionan de tal manera que la representación gráfica es una línea recta que no necesariamente pasa por el origen de coordenadas. En este caso, puede suceder que, cuando una variable aumenta, la otra también aumenta y, sin embargo, las variables no son directamente proporcionales. En la siguiente tabla se presentan los valores de la velocidad de un objeto para diferentes valores del tiempo.



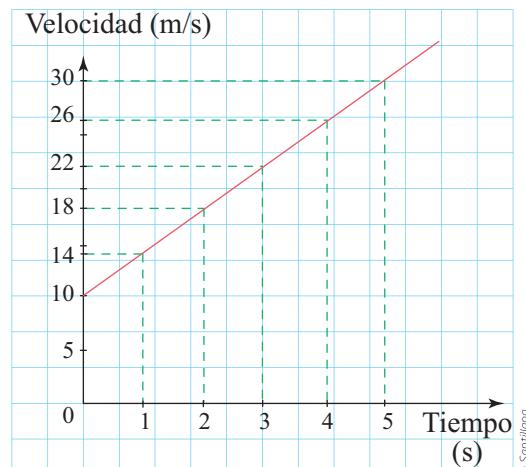
© Santillana

#### Recuerda

La ecuación de la recta en el plano  $x - y$ , cuya pendiente es  $m$  y corta al eje vertical en  $y = b$  es  $y = mx + b$ .

Tiempo (s)	0	1	2	3	4	5
Velocidad (m/s)	10	14	18	22	26	30

La representación gráfica de los valores en el plano cartesiano es una recta que no pasa por el origen, como se muestra a continuación.



© Santillana

Podemos determinar la ecuación de la recta mediante el cálculo de la pendiente y el valor en el que la gráfica corta al eje vertical (eje que representa la velocidad).

$$\text{Pendiente} = \frac{30\text{m} - 10\text{m}}{5\text{s} - 0} = 4 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, la ecuación de la recta que relaciona las variables  $v$  y  $t$  es:

$$v = 4t + 10$$

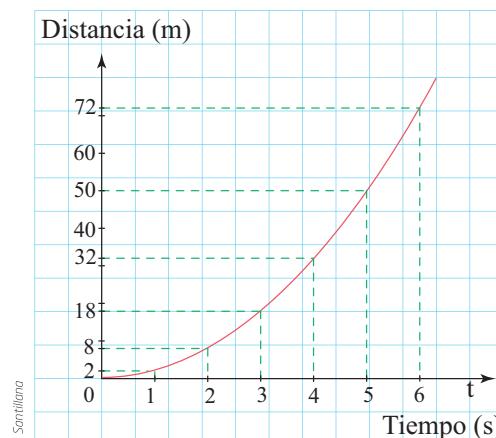


Fig. 1.17. La representación gráfica de una función cuadrática es una parábola.

### RELACIÓN CUADRÁTICA

Algunas magnitudes se relacionan mediante una relación cuadrática, como es el caso de un objeto que se mueve en línea recta y la distancia recorrida es proporcional al cuadrado del tiempo. En la siguiente tabla se muestran los datos de la distancia y el tiempo para el movimiento de un objeto bajo esta condición.

Tiempo (s)	0	1	2	3	4	5	6
Distancia (m)	0	2	8	18	32	50	72

La representación gráfica de los valores de la variable se presenta en la figura 1.17. Aunque la distancia aumenta cuando el tiempo aumenta, en este caso las variables no son directamente proporcionales, la gráfica no es una línea recta que pasa por el origen.

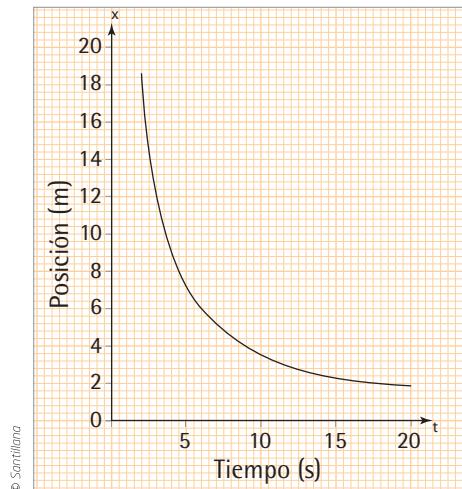


Fig. 1.18. La gráfica muestra la posición de una partícula cuando se desplaza en movimiento rectilíneo uniformemente variado con respecto al tiempo, en una relación cuadrática

### Ejemplo

Se desea cortar placas rectangulares cuya área sea igual a  $36 \text{ cm}^2$ .

- Construir una tabla que muestre posibles valores para el largo y el ancho.
- Construir una gráfica que represente los valores del largo y el ancho.
- Establecer una relación entre el largo y el ancho de los rectángulos.
- Determinar una expresión matemática que relacione el largo y el ancho de las láminas.

### Solución

- La tabla de valores podría ser la siguiente:

Largo (cm)	2,0	4,0	5,0	6,0	7,2	9,0	18,0
Ancho (cm)	18,0	9,0	7,2	6,0	5,0	4,0	2,0

- Al representar los datos en el plano cartesiano obtenemos la gráfica que se muestra en la figura 1.18.
- Observa que hemos puesto como condición que el área del rectángulo sea igual a  $36 \text{ cm}^2$ . Bajo esta condición, cuando el largo del rectángulo aumenta, el ancho disminuye. Pero además es posible observar que al duplicar el largo, el ancho disminuye a la mitad; al triplicar el largo, el ancho disminuye a la tercera parte, etc. Así, entre el largo y el ancho de las láminas de área  $36 \text{ cm}^2$ , podemos establecer una relación de proporcionalidad inversa.

Observa que el producto del largo,  $l$ , por el ancho,  $a$ , siempre toma el mismo valor, 36. Por tanto,

$$l \cdot a = 36$$

o lo que es lo mismo,

$$l = \frac{36}{a}$$

Verifica que todos los valores de la tabla satisfacen esta relación.

### Actividades



#### Trabajo cooperativo

Junto con un compañero respondan.

¿Cómo es el producto de cada valor de una variable por el respectivo valor de la otra, cuando las dos son inversamente proporcionales?

Verifícalo con los datos de la tabla.

#### Se tiene un conjunto de láminas metálicas cuadradas:

- Construye una tabla que muestre para diferentes cuadrados la medida del lado y el área que le corresponde.
- Construye, en el plano cartesiano, una gráfica para representar los valores de la tabla. Asigna los ejes del plano a las variables si sabes que el área depende del lado del cuadrado.
- Establece si la relación entre la medida del lado y el área del cuadrado es de proporcionalidad directa, proporcionalidad inversa o ninguna de las dos.
- Determina una expresión matemática que relacione el área del cuadrado con la longitud del lado.

# Problemas de ampliación

Construye una gráfica con valores de una tabla.

1. La tabla muestra los valores de la base y el área de un triángulo cuando la altura se mantiene constante e igual a 3 cm.

x	Base (cm)	1	2	3	4	5
y	Área (cm <sup>2</sup> )	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5

- Construye una gráfica en el plano cartesiano para los valores de la tabla.
- Determina, a partir de la gráfica, el área que le corresponde a un triángulo cuya base mide 3,5 cm.
- Determina la expresión matemática que relaciona el área del triángulo con la base del mismo.

Representa los datos de una tabla.

2. La siguiente tabla muestra la distancia de un móvil a la señal P en algunos instantes de tiempo.

x	Tiempo (s)	0	5	10	15	20
y	Distancia (m)	0	70	140	210	280



- Representa en el plano cartesiano los datos de la tabla.
- Determina una expresión matemática que relacione la distancia a P con el tiempo.
- Encuentra la pendiente de la gráfica. Interpretala.

Encuentra la expresión matemática de la relación de dos variables.

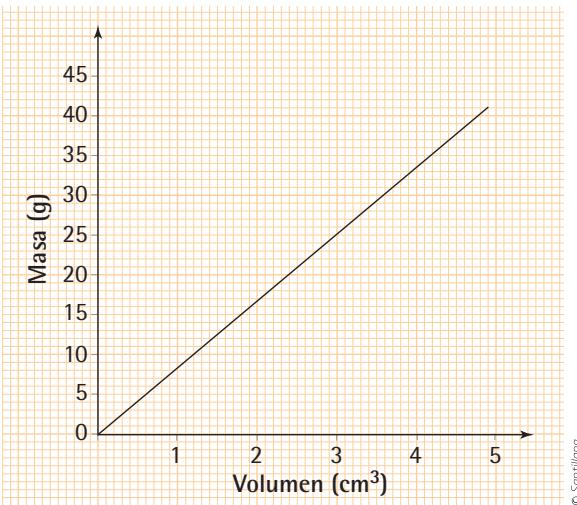
3. Al medir la temperatura de una determinada masa de agua sometida al calor, se obtuvieron los siguientes datos:

x	Tiempo (min)	0	1	2	3	4	5	6
y	Temperatura (°C)	20	25	30	35	40	45	60

- Encuentra una expresión matemática que relacione las dos variables.
- ¿Qué valores de temperatura corresponden a los tiempos 6 min y 7 min?

Extrae datos de un gráfico.

4. Para encontrar la relación de la masa con el volumen de hierro, se tomaron medidas de masa y volumen para diferentes cuerpos de hierro y se obtuvo la gráfica que se muestra a continuación.

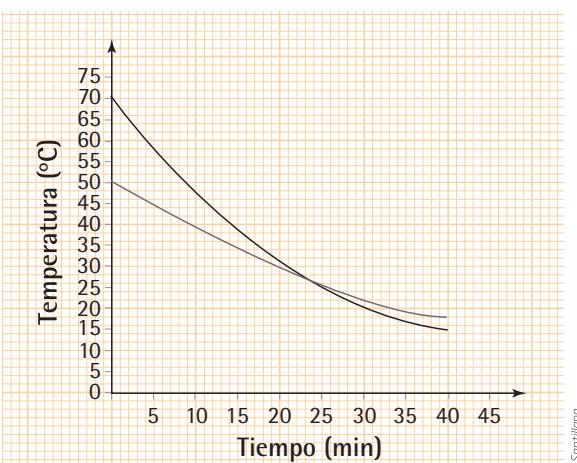


© Santillana

- ¿Qué variación experimenta la masa cuando se duplica el volumen?
- ¿Qué masa le corresponde a 1 cm<sup>3</sup> de hierro?

5. Las gráficas representan, en función del tiempo, la temperatura de dos sustancias que se han sometido a una fuente de calor y su comportamiento es decreciente y luego se han retirado de ella. Las temperaturas iniciales son 70°C y 50°C, respectivamente.

- En qué tiempo se observa que las dos tienen la misma temperatura?
- ¿Crees que haya otro valor de la temperatura en el cual las dos sustancias vuelvan a coincidir?



© Santillana



Identifica situaciones relacionadas con magnitudes físicas.

6. La siguiente tabla muestra el tiempo empleado por un automóvil en recorrer una distancia de 200 m a las velocidades indicadas.

Velocidad (m/s)	12,5	25	50	100
Tiempo (s)	16	8	4	2

- Construye la gráfica que relaciona las variables.
- Encuentra la ecuación que relaciona las dos variables.
- ¿Cuál sería el tiempo si el automóvil recorre la distancia a 200 m/s?

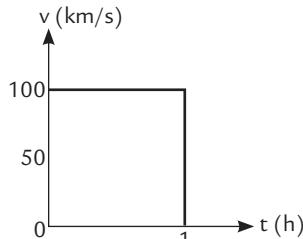
Representa gráficamente pares de valores.

7. Representa gráficamente los siguientes pares de valores, correspondientes a la variación de la posición de un cuerpo en metros, con el tiempo en segundos y responde.

- A (1s; 5m) B (2s; 20m) C (3s; 45m)  
D (4s; 80m) E (5s; 125m)
- ¿Qué tipo de gráfica es?
- ¿Son proporcionales la posición y el tiempo?

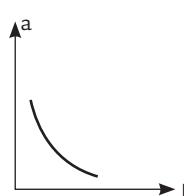
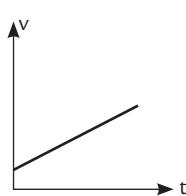
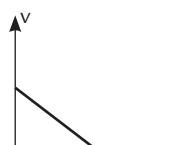
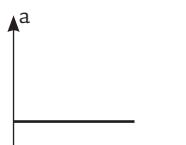
Relaciona magnitudes físicas.

8. A partir de la gráfica encuentra:



- La expresión matemática que relaciona la velocidad y el tiempo.
- El valor de v cuando  $t = 1/4$  h.
- El valor de t cuando  $v = 150$  km/h.

9. Para cada una de las siguientes gráficas indica el tipo de relación entre las dos variables.



Identifica situaciones relacionadas con magnitudes físicas.

10. Si A, B, C y D son variables para las cuales se cumple que A es directamente proporcional a B, C es inversamente proporcional a B y D<sup>2</sup> es directamente proporcional a B, escribe la ecuación que satisface estas condiciones.

11. El área de la superficie de un paralelepípedo regular es la suma de las áreas de las seis caras. Si duplicamos cada una de sus dimensiones, ¿en qué factor variará la nueva área con respecto a la primera?

## L Lección

Identifica magnitudes físicas y sus relaciones.

1. Se hicieron dos experiencias para medir las temperaturas de un litro de agua y un litro de aceite, en diferentes instantes de tiempo. Los resultados están en las siguientes tablas.

Aqua

Temperatura (°C)	15	18	21	24	27	30
Tiempo (min)	0	1	2	3	4	5

Aceite

Temperatura (°C)	15	20	25	30	35	40
Tiempo (min)	0	1	2	3	4	5

En el mismo plano, construye las gráficas de temperatura (T) en función del tiempo (t).

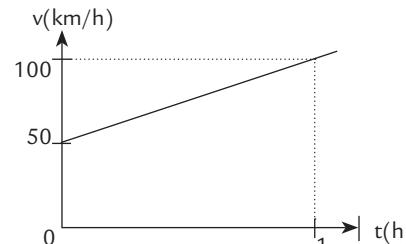
Determina la ecuación que relaciona la temperatura y el tiempo para el agua y el aceite.

Compara la rapidez con la que aumenta la temperatura de las dos sustancias.

## I Investiga

Resuelve problemas.

La siguiente gráfica responde a la ecuación  $v = 50t + 50$ ; donde v representa la velocidad y t representa el tiempo; encuentra:



- Investiga el valor correspondiente a la pendiente de la ecuación.
- El valor de v cuando  $t = 1/4$  h
- El valor de t cuando  $v = 150$  km/h.

# Magnitudes vectoriales

## Destreza con criterio de desempeño:

Diferenciar magnitudes escalares y vectoriales, con base en la aplicación de procedimientos específicos para su manejo que incluyen a los conceptos trigonométricos integrados al manejo de vectores.

## Conocimientos previos

Para saber el movimiento de la sierra de la (fig. 1.19), no bastaría con saber qué tan rápido se hace un corte, sino que también es importante conocer la dirección en que este se debe producir según el diseño que se quiera realizar.

Responde: ¿Aparte de la dirección de la sierra, qué otro dato crees que sería necesario para saber cómo se debe hacer el corte?

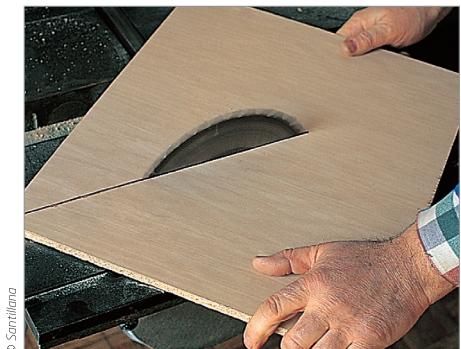


Fig. 1.19. Para hacer cortes con una sierra se requiere conocer la dirección en la cual se debe mover.

© Santillana

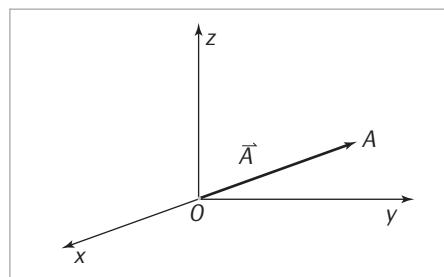


Fig. 1.20. La posición del punto A con respecto al punto O queda determinada por un vector.

© Santillana

## LOS VECTORES

Uno de los objetivos de la física es la descripción de los fenómenos naturales mediante magnitudes. Algunas magnitudes, para quedar bien definidas, solo requieren de un número y una unidad. A estas magnitudes, como la masa, la densidad y el tiempo entre otros, se les llama **magnitudes escalares**.

Por ejemplo, para informar cuál es la densidad del hierro, basta con escribir  $7,9 \text{ g/cm}^3$ .

Otras magnitudes no se pueden definir solamente con un número seguido de una unidad de medida. Por ejemplo, resultaría imposible localizar un punto a partir de otro sin conocer las posiciones con respecto a un sistema de referencia. Para resolver este problema utilizaremos el concepto de vector, en donde podemos distinguir las siguientes características: módulo (la distancia entre los puntos), dirección (el ángulo con respecto a un eje) y sentido (si es positivo o negativo), mediante una punta de flecha en uno de los extremos de la recta.

Llamamos **magnitud vectorial** a toda magnitud que se expresa mediante un vector.

Un ejemplo sencillo de magnitud vectorial es el de la posición de un objeto con respecto a un punto de referencia, como se ve en la figura 1.20. Al trazar el vector A queda perfectamente determinada la posición del punto A con respecto al punto O. Otro ejemplo de magnitud vectorial es la velocidad, pues no es lo mismo dirigirse a  $80 \text{ km/h}$  hacia el sur, que hacerlo igual de rápido hacia el norte. La fuerza es un ejemplo de magnitud vectorial, pues no es lo mismo aplicar sobre un cuerpo una fuerza hacia la derecha que aplicarla hacia la izquierda.

Los vectores (o las magnitudes vectoriales) se denotan simbólicamente con una letra que lleva una flecha encima. Por ejemplo, la aceleración  $\vec{a}$ , la velocidad  $\vec{v}$ , la posición  $\vec{r}$ . El valor numérico, es decir, la magnitud de un vector se representa con la misma letra pero sin la flecha o entre barras, por ejemplo, la magnitud del vector  $v$ , se representa por  $|\vec{v}|$  o por  $v$ .

Los vectores son elementos de los espacios vectoriales  $\mathbb{R}^2$  y  $\mathbb{R}^3$ . Para representar geométricamente un vector es necesario un sistema de referencia, que puede ser el sistema de coordenadas cartesianas. De esta manera, una vez se defina la unidad de longitud, esta debe ser proporcional a las magnitudes que se desee escribir como vectores. Por ejemplo, el tamaño de la flecha correspondiente al vector « $80 \text{ km/h}$  hacia el sur» es exactamente el doble del asignado al vector « $40 \text{ km/h}$  hacia el sur», o hacia donde se quiera. Estas características podemos observar en la fig. 1.21.

## Tarea

Responde: ¿Podría un aviador o un marino encontrar su lugar de destino, sabiendo solo el tiempo que debe volar o navegar y la distancia que debe recorrer?



## MÓDULO DE UN VECTOR

Se refiere a la longitud del segmento y mide la «intensidad» de la magnitud, por lo tanto, siempre es un número positivo. Puesto que se trata de una representación, sus unidades no necesariamente se refieren a una longitud. Así el módulo de la velocidad en el Sistema Internacional de Unidades, se expresa en m/s.

## DIRECCIÓN DE UN VECTOR

La dirección de un vector está determinada por la recta que lo representa. En el caso de una velocidad, se elige como dirección la recta sobre la cual sucede el movimiento, posteriormente, veremos que si el movimiento es curvilíneo, la velocidad en un punto tendrá la dirección de la recta tangente a la curva en dicho punto.

## SENTIDO DE UN VECTOR

El sentido de un vector está determinado por la orientación de la flecha situada en el punto final del segmento. En el caso de la velocidad, es evidente que este sentido coincide con el sentido del movimiento.

## EQUIVALENCIA DE VECTORES

El proceso de medida de una magnitud exige poder compararla con otra de la misma especie. **Dos vectores son iguales, si al trasladar paralelamente uno de ellos, se le puede hacer coincidir con el otro (fig. 1.22).** Esto quiere decir que se mantiene la igualdad cuando trasladamos un vector sin cambiar sus características.

## EL VECTOR DESPLAZAMIENTO

Consideremos el movimiento de un cuerpo puntual que describe una trayectoria como la de la figura 1.23. Durante su recorrido pasa por los puntos  $P_1$  y  $P_2$ , las posiciones en cada uno de los puntos se representan por los vectores  $\vec{r}_1$  y  $\vec{r}_2$ .

En el instante inicial ( $t = 0$  s) el móvil se encontrará en  $P_1$ , en el instante  $t$  el móvil se habrá desplazado y se encontrará en  $P_2$ . Se llama vector desplazamiento  $\vec{d}$ , al vector que tiene su origen en la posición inicial  $P_1$ , y cuyo punto final coincide con la posición final  $P_2$ .

## EL VECTOR VELOCIDAD

### VELOCIDAD MEDIA

La velocidad media del movimiento, se define como el cociente entre el desplazamiento y el tiempo  $t$  transcurrido en dicho desplazamiento.

$$\vec{v}_m = \text{Vector velocidad media} = \frac{\text{Vector desplazamiento}}{\text{Tiempo transcurrido}}$$

En el caso del movimiento en el plano, la velocidad media del movimiento  $\vec{v}$ , se define como el cociente entre el desplazamiento  $\vec{d}$  y el tiempo  $t$  transcurrido en dicho desplazamiento.

$$\vec{v} = \frac{\vec{d}}{t}$$

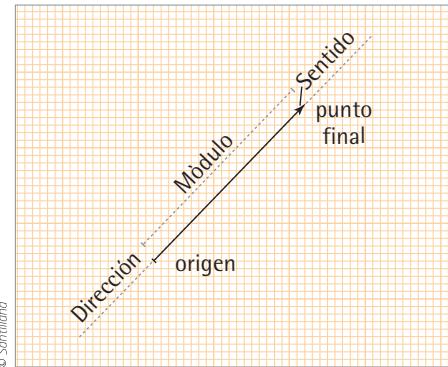


Fig. 1.21. Un vector es un segmento dirigido con origen y punto final.

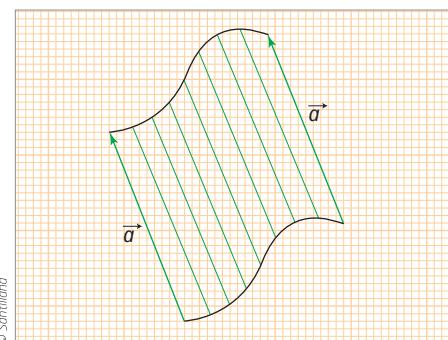


Fig. 1.22. Equivalencia de vectores.

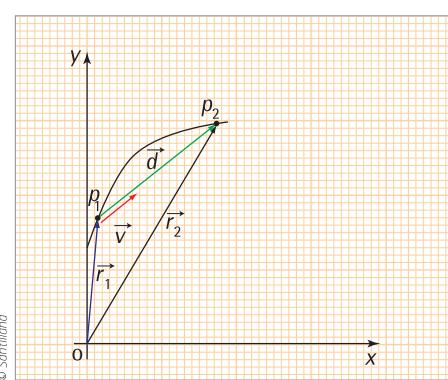


Fig. 1.23. El vector con origen en  $P_1$  y punto final en  $P_2$  es el desplazamiento  $\vec{d}$  entre estas dos posiciones. La velocidad media  $\vec{v}$  es un vector con la misma dirección y sentido que el vector desplazamiento.

## VELOCIDAD INSTANTÁNEA

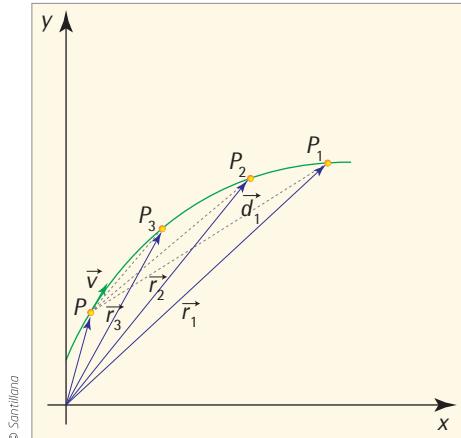


Fig. 1.24. Para intervalos cada vez más cortos, el vector velocidad media se approxima al vector velocidad instantánea, cuya dirección es tangente a la trayectoria.

¿Cómo podemos conocer la velocidad en un instante determinado de un objeto en movimiento? Supongamos que un cuerpo se traslada desde el punto  $P$  hasta el punto  $P_1$ , en un intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ . El vector desplazamiento será  $\vec{d}_1$ . ¿Qué pasa si tomamos los intervalos de tiempo cada vez más cortos? Los vectores desplazamiento se van pegando cada vez más a la trayectoria. Podemos decir que cuando las posiciones estén «infinitamente» próximas, la dirección del vector desplazamiento coincide con la trayectoria. En otras palabras, el vector desplazamiento resulta tangente a la misma. Tenemos que para intervalos de tiempo cada vez más cortos, la velocidad media se approxima a la velocidad instantánea, cuya dirección es tangente a la trayectoria (fig. 1.24).

Veamos las características que tiene el vector velocidad instantánea:

- **Módulo:** medida de la velocidad, también llamada **rapidez**.
- **Dirección:** la dirección está determinada por la tangente a la trayectoria en el punto  $P$ .
- **Sentido:** está determinado por el sentido de avance del movimiento.
- **Punto de aplicación:** el vector velocidad instantánea se representa con origen en la posición que ocupa el objeto en el instante de tiempo considerado.

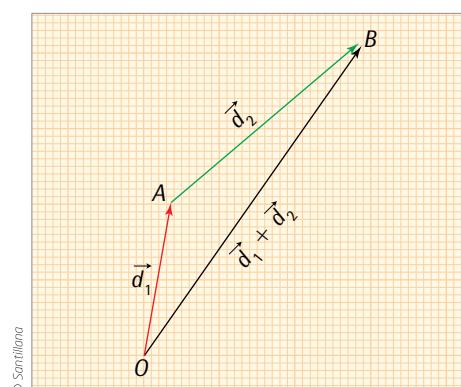


Fig. 1.25. El vector con origen en O y punto final en B, es la suma de los vectores  $\vec{d}_1$  y  $\vec{d}_2$ .

## SUMA DE VECTORES

Para ilustrar el significado que tiene la suma de vectores, supongamos que un objeto parte del punto  $O$  y se desplaza hasta el punto  $A$  ( $\vec{d}_1$ ). Una vez se encuentra en el punto  $A$ , se desplaza hasta el punto  $B$  ( $\vec{d}_2$ ). Para determinar el desplazamiento desde el punto  $O$  hasta el punto  $B$ , trazamos un vector con origen en el punto  $O$  y punto final en  $B$ . El vector con punto de partida en  $O$  y punto final en  $B$  es el vector suma  $\vec{d}_1 + \vec{d}_2$  (fig. 1.25).

**La suma de dos vectores es un vector que se construye como sigue: se coloca en el punto final de uno de ellos, el origen del otro vector (fig. 1.26.a); el vector suma se obtiene entonces al unir el origen del primero con el punto final del segundo (fig. 1.26.b).**

Supongamos que los dos vectores tienen origen común, como a menudo sucede con las fuerzas que actúan sobre un objeto. En este caso, al aplicar el método que hemos descrito, podríamos construir un paralelogramo (fig. 1.27). El vector suma es la diagonal del paralelogramo cuyo origen coincide con el de los dos vectores.

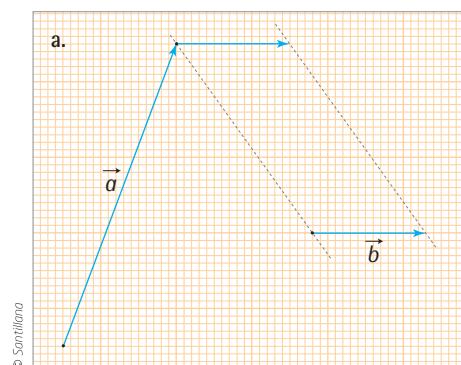


Fig. 1.26. Para sumar dos vectores que no tienen su origen común, basta con hacer una traslación a uno de ellos hasta que su origen coincida con el punto final del otro.

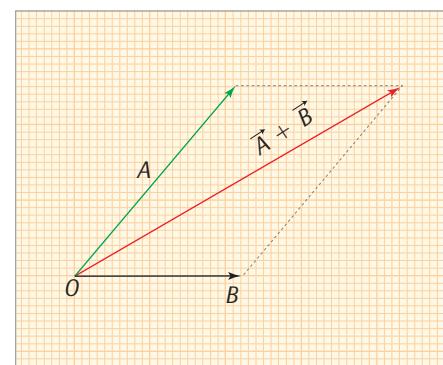
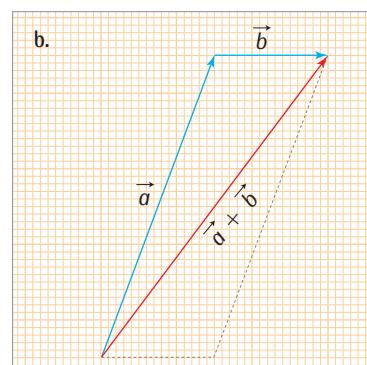


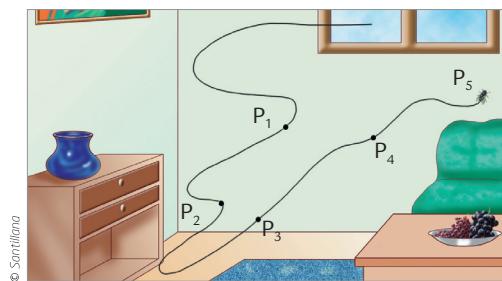
Fig. 1.27. Regla del paralelogramo para sumar dos vectores que tienen su origen común.



## Actividades

Analiza y explica situaciones en las que intervienen vectores.

**1. Observa, en la figura, la trayectoria del vuelo de una mosca y los puntos que se consideran a lo largo de dicha trayectoria. Con base en ello, resuelve:**



- Toma como origen del sistema de referencia la esquina inferior de la habitación y traza los vectores posición de cada uno de los puntos señalados.
- Traza los vectores desplazamiento entre cada uno de los puntos y el siguiente.
- Traza el vector velocidad en cada punto, suponiendo que el módulo de ésta no varía durante el vuelo de la mosca.

Representa vectores.

**2. Representa graficamente el vector velocidad que resulta en cada uno de los siguientes casos:**

- Un globo asciende a 10 m/s cuando el aire sopla perpendicularmente a 5 m/s.
- Una gaviota vuela horizontalmente a 5 m/s cuando el aire sopla a 2 m/s y ambas velocidades forman un ángulo de 60°.

**3. Los vectores posición de un móvil en cuatro instantes de su movimiento son:**

$$\begin{array}{ll} t = 0 \text{ s} & r_0 = (10, 2) \\ t = 1 \text{ s} & r_1 = (11, 3) \\ t = 2 \text{ s} & r_2 = (14, 6) \\ t = 3 \text{ s} & r_3 = (19, 11) \end{array}$$

Con base en esta información, dibuja una posible trayectoria para dicho móvil.

Identifica las componentes de un vector.

**4. Si la velocidad,  $v_a$ , de un avión, en aire en reposo y la velocidad,  $v_v$ , del viento son:**

$\vec{v}_a = (150, 120)$ , con sus componentes medidas en m/s,

$\vec{v}_v = (25, 12)$  con sus componentes medidas en m/s.

Determina el módulo, dirección y sentido de la velocidad del avión con respecto a la Tierra.

Resuelve problemas sobre vectores.

- La velocidad de un cuerpo es de 25 m/s en dirección este 40° norte. ¿Cómo se representa dicho vector?
- Explica por qué el tiempo transcurrido para un evento determinado no es una magnitud vectorial.
- Responde: ¿Por qué cuando dos automóviles transitan con la misma rapidez paralelos uno del otro en una avenida se dice que sus velocidades son equivalentes?
- Un ciclista recorre 8 km hacia el oeste, luego cambia de dirección. Al final del recorrido se encuentra a 12 km a 35° al noreste. ¿Cuál es su segundo desplazamiento?

## L Lección

Resuelve problemas que implican vectores.

- Considera dos vectores de diferentes módulos. ¿Cómo deben ser sus direcciones y sentidos para que su suma sea de módulo máximo?
- ¿Qué debería hacer el timonel de una embarcación para que al cruzar un río la corriente no desvíe la barca?
- ¿Por qué cuando llueve es frecuente inclinar el paraguas hacia adelante mientras caminamos para evitar que la lluvia nos moje?
- Describe un posible movimiento para un objeto que experimenta los desplazamientos  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$ , de tal manera que,  $d_1 + d_2 + d_3 = 0$ .
- Explica por qué la temperatura es una magnitud escalar.
- Si dos autos que se encuentran en las ciudades A y B respectivamente van a su encuentro con igual rapidez. ¿Con qué rapidez se mueve el auto B para el conductor que va en el auto A? ¿Y si van en direcciones contrarias alejándose?

## I Investiga

Investiga cuestiones sobre vectores.

- ¿Una de las componentes de un vector velocidad puede tener mayor o igual medida que el módulo del vector velocidad?
- ¿En qué caso la suma de dos vectores velocidad es nula?
- En qué caso la suma de dos vectores velocidad se mantiene la dirección y el sentido.

# Problemas de ampliación

Describe y dimuestra la importancia de la Física en la vida diaria.

1. ¿Cuál de los siguientes enunciados consideras que es verdadero? Justifica la respuesta.
  - a. La masa y el tiempo son magnitudes fundamentales.
  - b. El volumen es una magnitud fundamental.
  - c. La velocidad es una magnitud derivada.
  - d. Las magnitudes derivadas se obtienen de las magnitudes fundamentales.

Vincula a la Física con otras ciencias experimentales.

2. La velocidad del flujo sanguíneo alcanzará aproximadamente a 30 cm/s, suponiendo una vena en línea recta, ¿Qué tiempo se demora al recorrer 30 cm?

Reconoce y transforma las unidades del Sistema Internacional, diferenciando magnitudes fundamentales y derivadas.

3. ¿Cuál es la unidad de longitud en el Sistema Internacional?

Identifica situaciones relacionadas con magnitudes físicas.

4. Juan levanta una caja con libros y afirma: «Está caja está pesando 48 kg». ¿Puede esta afirmación ser cierta? ¿Por qué?

Selecciona la opción correcta sobre magnitudes físicas.

5. El radio promedio de la Tierra es de 6 374 km, escribe este valor en metros, utiliza notación científica.

Reconoce el número de cifras significativas de una cantidad.

6. Indica el número de cifras significativas en los siguientes valores.

- a. 320
- b. 93,50

Expresa cantidades en notación científica.

7. Expresa en notación científica.

- a. 0,004
- b. 0,00059

8. Expresa el número  $764,51 \cdot 10^{-5}$  en notación científica.

Resuelve operaciones con cantidades en notación científica.

9. Suma.

$$8,2 \times 10^2 \text{ m} + 7,8 \times 10^4 \text{ m} + 0,006 \times 10^5 \text{ m}$$

10. Multiplica.

$$3,068 \times 10^2 \text{ s} \cdot 0,084 \cdot 10^{-1} \text{ s}$$

Representa gráficamente pares de valores.

11. Representa gráficamente los siguientes pares de valores, correspondientes a la variación de la posición de un cuerpo en metros, con el tiempo en segundos y responde.

A (1s; 5m), B (2s; 20m), C (3s; 45m),  
D (4s; 80m), E (5s; 125m)

- a. ¿Qué tipo de gráfica es?
- b. ¿Son proporcionales la posición y el tiempo?

12. Alguien afirma que una vez escogido un patrón de medida, este no se puede modificar precisamente por ser un «patrón». ¿Cómo puedes refutar tal afirmación?

13. ¿De qué manera podrías determinar rápidamente el número de letras que tiene una hoja completa de periódico?

14. ¿Cuál de los siguientes recipientes contiene más líquido, una botella de medio galón o una botella de dos litros? ¿Cuál es la diferencia de volumen, expresada en  $\text{m}^3$ ?

15. Una persona encuentra que las dimensiones de un piso son 8 m por 10 m y pide a los distribuidores en Canadá que le envíen las baldosas necesarias. Sin embargo, estos utilizan el pie<sup>2</sup> como medida de superficie. ¿Cuántas baldosas de un pie cuadrado de área deben enviar?

16. ¿Cuál es la importancia de las cifras significativas en la medición?

17. Si la distancia media de la Tierra al Sol es de  $9,72 \cdot 10^{12} \text{ m}$ , ¿cuánto tarda en llegar la luz del Sol a la Tierra?

18. La densidad del mercurio (Hg) es  $13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . ¿Cuál es el volumen ocupado por 100 g de Hg?

19. Suponiendo que la Tierra es una esfera de radio igual a  $6,4 \cdot 10^3 \text{ km}$  y que tiene una densidad media de  $5,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . ¿Cuál es la masa de la Tierra?

20. Un transbordador espacial alcanza velocidades hasta de 11 000 km/h.

- a. ¿Qué distancia recorre en una hora?
- b. ¿Qué distancia recorre en un segundo?

21. Se sabe que la edad de la Tierra es de  $1,3 \cdot 10^{17} \text{ s}$ . ¿Cuál es la edad de la Tierra en horas? ¿Cuál es la edad en años?

22. Un año luz es la distancia que recorre la luz en un año a razón de 300 000 km en 1 s. Calcula en metros la distancia que equivale a un año luz.



**23. El nudo es una unidad de velocidad que se usa con frecuencia en aviación. Si un nudo equivale a 1 milla/hora, expresa en km/h la velocidad de un avión que vuela a 600 nudos.**

**24. ¿Cuál es el equivalente en  $\text{cm}^3$  de la capacidad de un motor de 2,5 litros?**

**25. La masa de un protón es  $1,67 \cdot 10^{-24}$  g y su volumen es de  $10^{-29}$   $\text{cm}^3$ . Calcula la densidad de un protón.**

**26. Considera una esfera de aluminio de radio 2,0 cm. La densidad del aluminio es  $2,7 \text{ g/cm}^3$ .**

- Determina la masa de la esfera.
- ¿Qué sucede al volumen si se duplica el radio?
- ¿Qué sucede a la masa si se duplica el radio?
- ¿Qué sucede con la densidad si se duplica el radio?

**27. Se tiene un paralelepípedo rectangular de lados 3,0 m y 5,2 m y altura 2,5 m, ¿cuál es el volumen en  $\text{cm}^3$ ?**

**28. El movimiento de rotación de la Tierra se retarda a razón de 1023 segundos por siglo. Este retardo ha sido determinado en los eclipses de Sol. Calcula el tiempo acumulado del retardo en la rotación al cabo de 20 siglos.**

**29. Se quiere forrar en tela una esfera de plomo de radio R = 20 cm. ¿Cuánto cuesta forrar la esfera si el  $\text{cm}^2$  de tela es a \$250?**

**30. Segundo la Biblia, Noe recibió instrucciones para construir un arca de 300 codos de largo, 50 codos de ancho y 30 codos de alto. El codo era una unidad de longitud basada en el largo del antebrazo e igual a la mitad de una yarda. ¿Cuáles pudieron ser las dimensiones del arca en metros? Si consideramos el arca rectangular, ¿cuál pudo ser su volumen en metros cúbicos?**

**31. En los últimos años, hemos avanzado en nuestro conocimiento acerca de las dimensiones del universo. Encontramos la distancia a la Luna al hacer incidir un haz de luz y registrar el tiempo de regreso ( $c = 5\,300\,000 \text{ km/s}$ ). ¿Cómo podríamos determinar la distancia de la Tierra a un planeta del sistema solar?**

Reconoce y valora la importancia de los aportes de los científicos en el desarrollo tecnológico de la humanidad.

**32. De las cinco afirmaciones siguientes, solo hay dos verdaderas y tres falsas. Escoge las que son verdaderas y escríbelas.**

- Hay una lista de temas sobre los que, prioritariamente, deben investigar los científicos.

- Si quisieramos investigar cómo se dilata una barra al calentarse, la variable dependiente sería el calor que se comunica y la variable independiente la longitud que se dilata la barra.
- Hay científicos que investigan aunque no realicen experimentos.
- Todas las regularidades que se encuentran en una investigación pueden expresarse mediante una ecuación matemática.
- Tener una teoría científica acerca de algo es equivalente a imaginarse algo.

Transforma unidades.

**33. El diámetro de la Luna es 3 480 km. Si se le considera como esfera, ¿cuál es el volumen en  $\text{m}^3$ ?**

Realiza el análisis dimensional.

**34. Verifica si la siguiente ecuación es dimensionalmente correcta.**

$$v^2 = v_0^2 + 2a t$$

Donde:  $v$  es velocidad,  $a$  es aceleración y  $t$  es tiempo.

Resuelve problemas.

**35. La rapidez de un objeto está dada por la ecuación  $v = A t^2 - B t$ , donde  $t$  es tiempo. ¿Cuáles son las dimensiones de  $A$  y de  $B$ ?**

## L Lección

Identifica situaciones relacionadas con magnitudes físicas.

- ¿Qué diferencia existe entre magnitud y patrón de medida? Explica a través de un ejemplo.

Transforma unidades derivadas.

- Transforma.

- La velocidad de un avión que viaja a 900 km/h en m/s.
- El volumen de un maletín de  $9,5 \text{ m}^3$  en  $\text{cm}^3$ .

## I Investiga

Resuelve problemas.

- Estima el número de horas que un ser humano duerme durante su vida.

Determina el valor promedio de varias mediciones.

- Una hoja de cuaderno se mide cuatro veces y se obtiene los siguientes resultados: 5,8 cm, 5,6 cm, 5,2 cm y 5,7 cm.
  - Determina el valor promedio de los datos.
  - Determina la desviación media.
  - Expresa el resultado de la medición y el error relativo.

# Problemas de ampliación

Identifica el valor de verdad de los enunciados.

- Lee cada enunciado, escoge los que son verdaderos. Justifica la respuesta.
  - Toda magnitud vectorial tiene módulo y dirección.
  - El módulo de un vector representa la longitud del vector.
  - La distancia recorrida por un cuerpo es una magnitud vectorial.
  - Dos vectores con el mismo módulo no necesariamente son iguales.
  - Todo vector tiene dos componentes que son perpendiculares entre sí.

Selecciona la opción que cumple las condiciones dadas.

- Determina cuál de los siguientes valores no puede representar el módulo de un vector. Justifica.
  - 14 m
  - 0 km
  - 28 m/s
  - 250 N

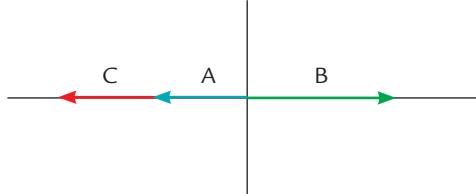
Reconoce magnitudes escalares.

- De las siguientes magnitudes, ¿cuál es escalar? Explica por qué.
  - El desplazamiento
  - La velocidad
  - El área
  - La aceleración

Analiza y explica situaciones en las que intervienen vectores.

- Una persona camina 6 km en dirección oeste, gira y camina otros 4 km  $30^\circ$  al noroeste. Finalmente, camina 2 km al norte, ¿cuál fue su desplazamiento resultante? Realiza el gráfico.
- Calcula el valor de  $k$  sabiendo que el módulo del vector  $\vec{v} = (k, 3)$  es 5.
- Encuentra el valor del módulo del vector  $\vec{v}$  si sus componentes son  $(3, 4)$ .
- Dados los vértices de un triángulo A (1, 2), B (-3, 4) y C (-1, 3), halla las coordenadas del baricentro.
- Halla las coordenadas del punto C, sabiendo que B (2, -2) es el punto medio de AC, A (-3, 1).

- Las magnitudes de los vectores A, B y C que se muestran en el gráfico son 10u, 15 u, 20u respectivamente. ¿Cuál es el vector diferencia  $A - B - C$ ?



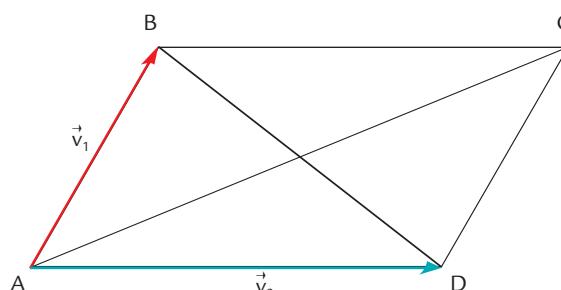
- Determina cuáles de las siguientes expresiones son verdaderas. Escríbela y justifica tu respuesta.

- El vector velocidad es tangente a la trayectoria en cada punto.
- El módulo del vector desplazamiento coincide con la distancia recorrida.
- El vector velocidad media tiene la misma dirección que el vector desplazamiento.
- La distancia recorrida es un vector.
- La suma de dos vectores que tienen sentido opuesto es cero.

- ¿Cuál de los siguientes ejemplos es una magnitud vectorial? Demuéstralos.

- La población de Cuenca.
- La temperatura ambiente.
- La velocidad de un cuerpo.
- La trayectoria de un balón.

- ¿Cuál es el resultado de la suma de las velocidades  $\vec{v}_1$  y  $\vec{v}_2$  en la representación?



- ¿Cuándo la suma de dos vectores es cero?

# Evaluación

**Indicador esencial de evaluación:** Describe y dimuestra la importancia de la Física en la vida diaria.

**3 puntos**

1. ¿Cuál de los siguientes enunciados consideras que es una hipótesis científica? Justifica la respuesta.

- El arcoíris es un fenómeno relacionado con el comportamiento de la luz.
- La lluvia es un fenómeno relacionado con el medio ambiente.
- Albert Einstein es el físico más grande que ha existido.

**Indicador esencial de evaluación:** Vincula a la Física con otras ciencias experimentales.

**3 puntos**

2. Selecciona cuál de las siguientes afirmaciones son verdaderas. Justifica tu respuesta.

- En el cuerpo humano, los alimentos son la principal fuente de energía.
- La temperatura del cuerpo humano debe mantenerse aproximadamente constante.
- Las leyes físicas son inmutables.
- Llamamos media aritmética de un conjunto de medidas a la suma de todas las medidas divididas por dos.
- La notación científica facilita el manejo de las cantidades del mundo de lo grande y de lo pequeño.
- Toda medida se expresa con una cantidad y su respectiva unidad.

**Indicador esencial de evaluación:** Reconoce y transforma las unidades del Sistema Internacional, diferenciando magnitudes fundamentales y derivadas.

**1 punto**

3. Señala algunas semejanzas y diferencias entre:

- Magnitudes fundamentales y magnitudes derivadas.
- Error absoluto y error relativo.

4. Relaciona las siguientes medidas con sus respectivas transformaciones.

a. 1,5 km	1. 45 000 g
b. 8 $\mu\text{m}$	2. 1 500 m
c. 45 kg	3. 0,127 km
b. 45 cm	4. $8 \cdot 10^{-6}\text{m}$
c. 127 m	5. 0,45 m

**Indicador esencial de evaluación:** Integra la teoría de errores en la realización de mediciones.

**1 punto**

5. ¿Qué medida es más exacta, la realizada al determinar la masa de una persona de 60 kg con un error de 1 000 g o la realizada al medir la masa de un auto de 1 200 kg con un error de 10 kg?

## Coevaluación

En grupos de tres compañeros, construyan la gráfica de los datos que resultan de medir la temperatura de una determinada masa de agua que se está calentando y respondan. Luego, en plenaria, discutan acerca de los resultados.

Instante (min)	0	1	2	3	4	5	8
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	20	25	30	35	40	45	60

- ¿Cuál es la ecuación matemática que relaciona las variables?
- ¿Cuál es la unidad de constante de proporcionalidad?

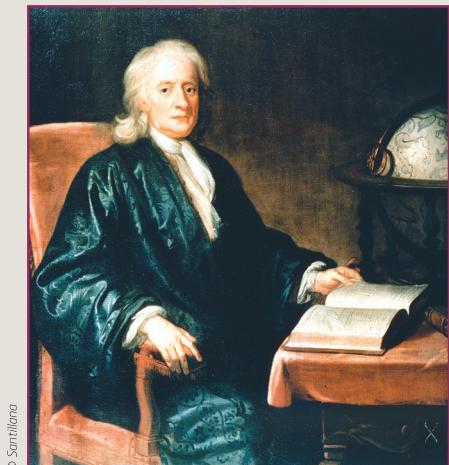
## Autoevaluación (Metacognición)

Demuestra con un ejemplo cómo se transforma 6,8 slug a mg.

**Ciencia, tecnología e innovación.**

Los conocimientos aportados por las ciencias son actualmente aplicados a un sin fin de adelantos que nos ha permitido generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos; recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales; desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del Buen Vivir.

## La evolución de la Física

© Santillana

Isaac Newton partió en dos la historia de la física con sus leyes acerca de las fuerzas, el movimiento y la gravitación universal.

Desde la antigüedad, el ser humano ha tratado de entender el comportamiento y el origen de la materia y de explicar los eventos que suceden en el mundo físico que lo rodea. Sin embargo, la física no surgió como ciencia definida y separada de otras ciencias sino hasta comienzos del siglo XIX. La física busca reducir la descripción del mundo a leyes que rigen el conjunto de los elementos esenciales del Universo.

Respondiendo a sus preguntas, los científicos han descubierto por qué los objetos caen, por qué los materiales tienen diferentes características, por qué la Tierra tiene forma redondeada y han logrado predecir el comportamiento de cuerpos celestes como la Tierra, el Sol y los planetas. Muchas de las teorías propuestas han

sido revaluadas y remplazadas por otras más modernas y con mayor poder predictivo. Sin embargo, han ayudado a transformar profundamente la cotidianidad del ser humano, y hasta las más modernas, como la mecánica cuántica y la relatividad, serán revaluadas también algún día.

Enumerar los descubrimientos, teorías y avances que ha tenido la física, y sus implicaciones en nuestra vida sería muy extenso. No obstante, a lo largo de su evolución, ha habido cinco grandes momentos en los que se han producido las grandes teorías dentro de las que es posible explicar los miles de millones de fenómenos físicos que existen en el Universo: la mecánica newtoniana, la termodinámica, el electromagnetismo, la relatividad y la mecánica cuántica.

### El siglo XVII y las leyes del movimiento y la gravitación universal

El siglo XVII fue un período caracterizado por los grandes adelantos científicos, tecnológicos, artísticos y culturales. En este período surgieron dos de los grandes científicos que marcaron un hito en la física, partieron en dos la historia de la ciencia y cambiaron radicalmente las principales teorías científicas del momento: el italiano Galileo Galilei y el inglés Isaac Newton. Galileo, el primero en utilizar un método experimental para validar las teorías físicas, fue el precursor del método científico y formuló varias teorías acerca del movimiento de los cuerpos. Con los aportes de Newton, la física dio un verdadero salto: postuló las leyes del movimiento y la gravedad universal, y contribuyó en la explicación de la propagación de la luz y la separación de los colores de la luz blanca mediante un prisma.

Durante este período se dieron grandes adelantos en el desarrollo de instrumentos ópticos como el microscopio y el telescopio, que bajo el desarrollo de la ley de la gravedad universal darían lugar a la astrofísica que explica los fenómenos astronómicos en términos de teorías físicas.

© Santillana

La ley de la gravedad universal permitió describir el movimiento de los astros y dio origen a la astrofísica.

## El siglo XIX: el electromagnetismo

Los chinos ya conocían el magnetismo hacia el año 2000 a.C., y los griegos en el 700 a.C. observaron fenómenos eléctricos y magnéticos al frotar un pedazo de ámbar y ver cómo este atraía pequeños trozos de papel. No obstante, la comprensión y el estudio de los fenómenos electromagnéticos comenzó en el siglo XIX, cuando se conoció que la electricidad y el magnetismo estaban relacionados. Michael Faraday descubrió que al acercar un alambre a un imán, sobre aquel se generaba una corriente eléctrica, y Hans Oersted observó que al acercar una brújula a un alambre con corriente eléctrica, la aguja de ésta se desviaba. James Maxwell unificó estos fenómenos en la teoría del electromagnetismo, en la que formulaba leyes básicas para todos los fenómenos electromagnéticos incluyendo las fuerzas entre los átomos responsables de la formación de sólidos, líquidos y gases.

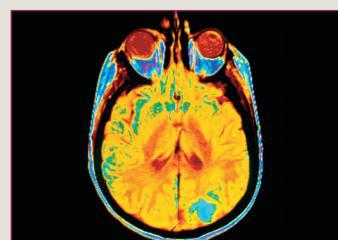
Para el ser humano de hoy es difícil imaginar la vida sin la electricidad y el magnetismo, pues el mundo está lleno de aparatos basados en sus principios.



La mayoría de los electrodomésticos utilizan para su funcionamiento algún principio del electromagnetismo.

## El siglo XX: la física moderna, la relatividad y la mecánica cuántica

Hacia finales del siglo XIX casi todos los fenómenos podían ser explicados a la luz de la mecánica newtoniana, la termodinámica y el electromagnetismo. Sin embargo, los fenómenos que ocurrían entre partículas extremadamente pequeñas o grandes o moviéndose a velocidades cercanas a la de la luz, escapaban a sus predicciones. Dos grandes físicos, con sus teorías conocidas como de la física moderna, llenaron este vacío. En 1915, Albert Einstein propuso la teoría de la relatividad general, que reemplazó a la ley de la gravedad universal, en la que explicaba la gravedad bajo condiciones de masa, energía y velocidad muy grandes. En 1925, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger y Paul Dirac como resultado del descubrimiento del núcleo y otras partículas subatómicas, formularon la teoría de la mecánica cuántica en la que describían el comportamiento de la materia a escalas muy pequeñas. Los conocimientos aportados por estas teorías son actualmente aplicados a un sin fin de adelantos tecnológicos. La mecánica cuántica se utiliza para lograr mejores materiales, con características superconductoras que transmitan la electricidad a grandes velocidades y sin pérdida de energía. La relatividad ha sido utilizada en el desarrollo de energías alternativas, como la nuclear, usada para fines bélicos y sociales.



© Santillana

Los conocimientos de la mecánica cuántica se han utilizado para desarrollar imágenes diagnósticas como los rayos X.

### Actividades

**La física está muy relacionada con las otras ciencias y de alguna manera las reúne. La química estudia la interacción entre los átomos para formar moléculas, la geología es estudiada por la geofísica, la astronomía es abarcada por la astrofísica y aún los sistemas vivientes, por estar compuestos de partículas esenciales, son estudiados por la biofísica y la bioquímica. ¿Crees que todos los fenómenos puedan ser reducidos al estudio de los fenómenos físicos? ¿Por qué?**

### Investiga

Investiga otros descubrimientos que han cambiado la historia de la física. ¿Por qué la teoría termodinámica cambió la manera de ver el mundo y cuáles son sus principales postulados y sus principales aplicaciones?



© Santillana

La termodinámica estudia los fenómenos de transferencia de calor de un cuerpo a otro y los cambios de estado que se generan.

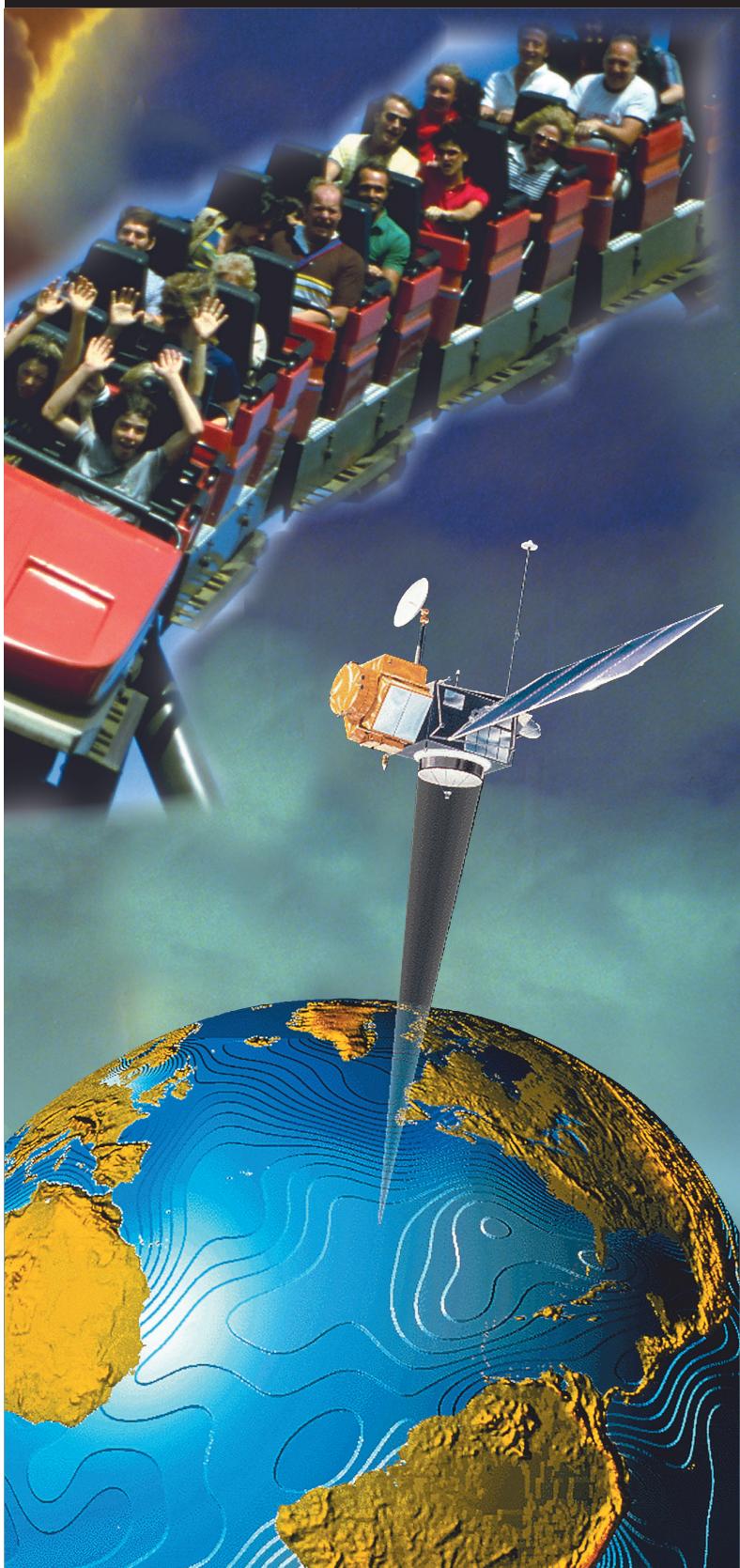
Bloque  
**2**

## Movimientos de los cuerpos en una dimensión



### Observa y analiza la imagen

- ¿En la Tierra hay algún otro objeto que tenga la velocidad con la cual se produce el lanzamiento de un cohete?
- ¿Cómo es el movimiento que describen los satélites artificiales alrededor de la Tierra?
- ¿Cómo son las trayectorias seguidas por los diferentes objetos que se mueven en un parque de diversiones?
- ¿Qué tan rápido aumenta la velocidad de un auto de fórmula 1 cuando parte del reposo y en poco tiempo ha alcanzado alta velocidad?



Estudiar el movimiento de los cuerpos es estudiar un fenómeno del que ya sabemos muchas cosas, puesto que desde nuestra infancia observamos que los cuerpos se mueven a nuestro alrededor, a la vez que nosotros también nos movemos. Sin embargo, es posible que a veces se tengan dudas sobre qué cuerpos son los que realmente se mueven y qué cuerpos permanecen en reposo. En este bloque, estudiaremos la necesidad de definir sistemas de referencia para describir los movimientos.

Los términos *posición, velocidad y aceleración* son conocidos pero, precisaremos su significado y los utilizaremos para describir el movimiento de objetos sobre una línea recta. Un caso particular de este tipo de movimiento es el de los cuerpos cuando caen o cuando son lanzados hacia arriba, movimiento que fue materia de estudio desde la antigüedad y que con los trabajos de Galileo se logró adquirir mayor precisión en su interpretación.



#### Objetivo educativo

Caracterizar el movimiento en una dimensión, de tal forma que se puedan enfrentar situaciones problemáticas sobre el tema, y lograr así resultados exitosos en los que se evidencie pulcritud, orden y metodología coherentes.

Tocado de plumas de los pueblos indígenas amazónicos.



## Destreza con criterio de desempeño:

Conceptualizar distancia y desplazamiento, rapidez y velocidad, aceleración, a partir de la explicación del movimiento de los cuerpos en una dimensión.



Fig.2.1. Los objetos fijos al tren están quietos para los observadores que están dentro de él.

## EL MOVIMIENTO

### Conocimientos previos

Cuando una persona se encuentra dentro de un automóvil en movimiento tiene la sensación de estar en reposo, y piensa que es el automóvil que está en la vía inmediata es el que se mueve. También sucede que al encontramos en un automóvil que está en reposo y si un vehículo que se encuentra adelante se mueve, parecerá que el automóvil está retrocediendo.

Imagina que viajas dentro de un tren como ese muestra en la fig.2.1. ¿Qué diría un observador que se encuentra detenido en la vía? ¿Y qué diría un observador que se encuentra en un automóvil que está viajando con mayor velocidad al lado del tren?

La parte de la mecánica que describe el movimiento es la **cinemática**.

La cinemática aborda el estudio de las magnitudes propias del movimiento (velocidad de un móvil en determinado instante, distancia recorrida por dicho móvil en determinado tiempo, etc.).

### LOS SISTEMAS DE REFERENCIA

Para describir el movimiento de un cuerpo, se utilizan ciertos sistemas de referencia que facilitan la descripción del movimiento.

Los sistemas de referencia se representan por sistemas de coordenadas, principalmente se usa el sistema de coordenadas cartesianas, que consisten en tres ejes cartesianos mutuamente perpendiculares, como se muestra en la figura 2.2. De forma que la posición de un punto cualquiera  $P_1$  en cierto instante de tiempo  $t$  está determinada por sus tres coordenadas cartesianas ( $x_1, y_1, z_1$ ).

Cuando se describe el movimiento de un objeto se debe establecer un sistema de referencia con respecto al cual lo estamos considerando.

**El movimiento es el cambio de posición que experimentan unos cuerpos con respecto a otros.**

Si bien se puede describir el movimiento de un cuerpo desde cualquier sistema de referencia, hay sistemas que resultan más prácticos que otros para cada caso particular y esto depende de qué tan sencilla puede resultar la descripción. Por ejemplo, el movimiento de los planetas puede ser descrito desde la Tierra como lo hizo Aristóteles (384-322 a. C.), quien concebía la Tierra como el centro del Universo y la tomó como sistema de referencia para describir el movimiento de los planetas, del Sol, de la Luna y de las estrellas (fig.2.3)

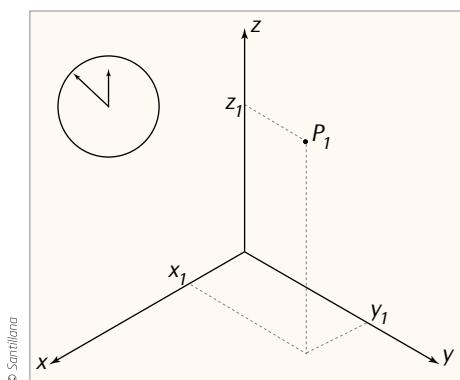


Fig.2.2. Un sistema de referencia está armado por un reloj y tres ejes cartesianos.

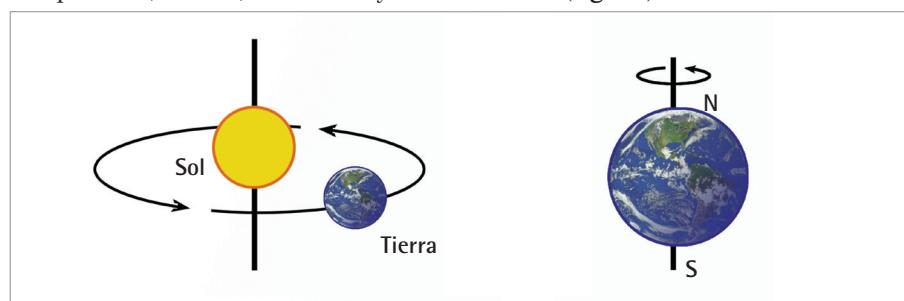


Fig.2.3. La Tierra es muy pequeña comparada con el sistema solar, pero es muy grande en relación con un proyectil.



© Santillana

Fig. 2.4. Los anuncios que indican el kilometraje son sistemas de referencia con respecto a los cuales podemos describir el movimiento.

La descripción realizada tomando como sistema de referencia el Sol, permitió profundizar en el conocimiento sobre los astros y llevó al descubrimiento de la gravedad.

Para analizar un movimiento, consideramos que los sistemas de referencia están en reposo. Por ejemplo, si tomamos como sistema de referencia el anuncio del kilometraje (fig. 2.4), lo consideramos en reposo. Sin embargo, si el sistema de referencia fuera el Sol, tendríamos que aceptar que el anuncio acompaña a la Tierra en su movimiento alrededor del Sol.

### CUERPOS PUNTUALES

Un cuerpo puede girar o vibrar mientras se traslada como un todo. Por ejemplo, una pelota pateada «con efecto» gira sobre su eje a medida que avanza, y una gota de agua se deforma mientras va cayendo.

**Un cuerpo puntual o partícula es un objeto considerado sin tamaño, que puede tener movimiento, pero que no existe en la naturaleza.**

Un cuerpo no necesita ser pequeño para ser considerado puntual. Más aún: un mismo cuerpo puede ser considerado como puntual o no, dependiendo de si su tamaño es relevante para explicar el fenómeno que se está estudiando. Así, por ejemplo, el tamaño de la Tierra (fig. 2.3) será fundamental para describir el movimiento de un proyectil, mientras que, esta podrá ser considerada como un punto si queremos estudiar la órbita que describe alrededor del Sol.

Para entender de manera simple los conceptos fundamentales de la cinemática, primero limitaremos nuestro estudio al movimiento de cuerpos puntuales.

### LA TRAYECTORIA

Cuando un objeto se mueve, ocupa diferentes posiciones sucesivas al transcurrir el tiempo, es decir, que en su movimiento describe una línea.

**La trayectoria es la línea que un móvil describe durante su movimiento.**

En función de la trayectoria descrita, los movimientos pueden ser: en línea recta, **rectilíneos**, o en línea curva, **curvilíneos**.

Los movimientos curvilíneos pueden ser, entre otros, **circulares**, si la trayectoria es una circunferencia como ocurre con el extremo de las manecillas de un reloj; **elípticos**, si la trayectoria es una elipse, como ocurre con el movimiento de los planetas alrededor del Sol; y **parabólicos**, si la trayectoria es una parábola, como ocurre con el movimiento de los proyectiles.



### Tarea

Responde.

- ¿En qué caso crees que un avión podría considerarse como un cuerpo puntual?
- ¿En qué caso crees que no es conveniente considerarlo como cuerpo puntual?

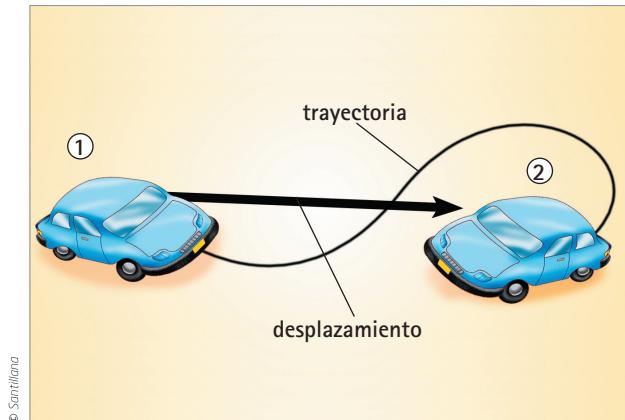


Fig. 2.5. Desplazamiento de un carrito.

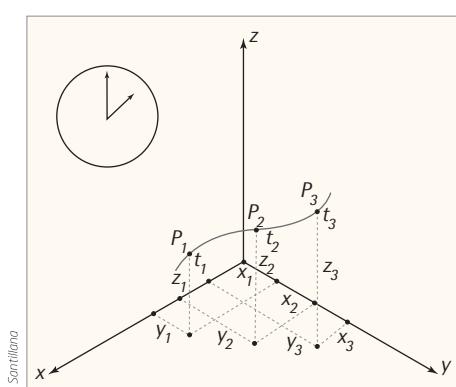


Fig. 2.6. Las posiciones sucesivas de un cuerpo quedan fijadas en cada instante por las coordenadas de los puntos por donde pasa.

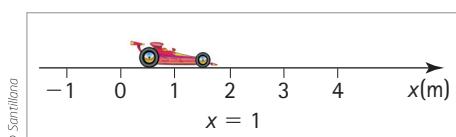


Fig. 2.7. Para describir el movimiento rectilíneo utilizamos el eje x.

## DISTANCIA Y DESPLAZAMIENTO

En la figura 2.5, el carrito ha pasado de la posición 1 a la posición 2, describiendo un movimiento curvilíneo. Si se unen ambas posiciones mediante un segmento, en el cual se señala el cambio de posición, **el desplazamiento de un móvil es el segmento dirigido que une dos posiciones diferentes de la trayectoria de dicho móvil**.

**La distancia recorrida es la medida de la longitud de la trayectoria.**

Para el caso del carrito, la distancia recorrida es la medida de la longitud de la línea curva descrita por él en su movimiento, mientras que el desplazamiento es el segmento dirigido que va desde el comienzo de dicha línea hasta su final.

El movimiento puede ser en tres dimensiones. En la figura 2.6, el móvil ha pasado de la posición  $P_1$  a la posición  $P_3$  describiendo una trayectoria.

La distancia recorrida y la magnitud del desplazamiento coinciden únicamente cuando el movimiento es rectilíneo en un solo sentido, por ejemplo, el caso de un objeto que se mueve siempre hacia la derecha. Para describir estos movimientos se utiliza la línea recta representada por el eje x, de tal manera que, la posición queda especificada por medio del valor de x del punto que ocupe (fig.2.7).

## LA RAPIDEZ Y LA VELOCIDAD

Para describir un movimiento se debe tomar en cuenta qué tan rápido sucede, es decir, si recorre mayor o menor distancia en la unidad de tiempo (segundos, minutos, horas, etc.)

**La rapidez es la distancia recorrida en la unidad de tiempo.**

Podemos considerar dos tipos de rapidez: la rapidez media y la rapidez instantánea.

En la figura 2.8, las personas que miran la carrera de autos se han colocado al borde de la vía de la siguiente manera: el primero, a 40 metros de la salida ( $x=40$  m) y los demás separados entre sí también 40 metros. Ellos han cronometrado el tiempo como se muestra en la tabla.

Al calcular el cociente entre la distancia recorrida por el móvil y el tiempo transcurrido, se obtiene la rapidez media del automóvil.

**La rapidez media es el cociente entre la distancia recorrida por el móvil y el tiempo empleado en recorrerla.** Es decir:

$$\text{Rapidez media} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Tiempo transcurrido}}$$

### Ti Trabajo individual

¿Es posible que un móvil haya descrito una trayectoria y sin embargo, no se haya desplazado? ¿En qué condiciones puede darse esta situación?

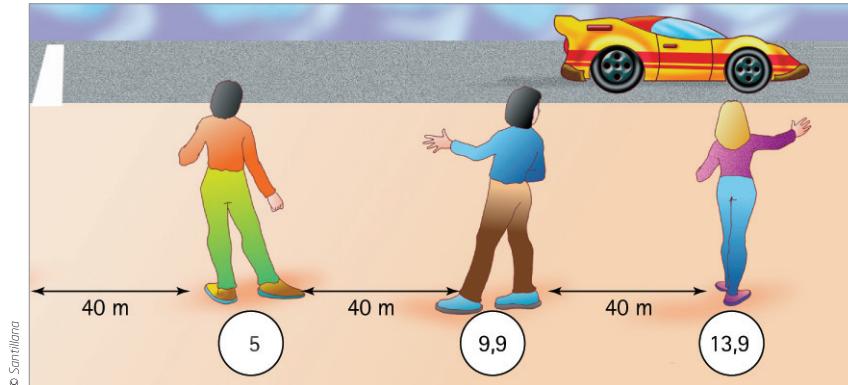
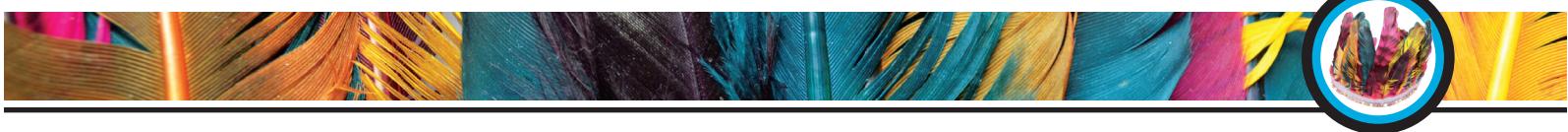


Fig.2.8. La rapidez media relaciona las distancias recorridas con los intervalos de tiempo considerados.

	$x(m)$	$t(s)$	$\Delta x(m) = x_2 - x_1$
1	40	5	$40 - 0 = 40$
2	80	9,9	$80 - 40 = 40$
3	120	13,9	$120 - 80 = 40$
$\Delta(t) = t_2 - t_1$		$\frac{\Delta x}{\Delta(t)} \text{ (m/s)}$	
1	$5 - 0 = 5$		8
2	$9,9 - 5 = 4,9$		8,2
3	$13,9 - 9,9 = 4$		10,2

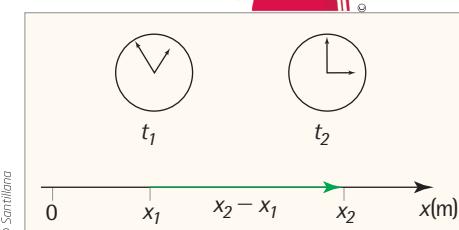


Fig.2.9. Si en el tiempo  $t_1$ , la posición es  $x_1$  y en el tiempo  $t_2$  la posición es  $x_2$ , el desplazamiento durante el intervalo  $t_2 - t_1$  es  $x_2 - x_1$ .

**La rapidez instantánea** se refiere a la rapidez en determinado instante.

**La velocidad media** es el cociente entre el desplazamiento y el tiempo transcurrido (fig.2.8).

$$\vec{v} = \frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Tiempo transcurrido}}$$

En la figura 2.9, el desplazamiento es la variación de la variable  $x$  entre dos valores  $x_1$  y  $x_2$ , es decir,  $x_2 - x_1$ . Esta variación se representa por:  $x = x_2 - x_1$ . Este desplazamiento ocurre durante el intervalo de tiempo transcurrido entre  $t_1$  y  $t_2$ , el cual se representa por  $t = t_2 - t_1$ .

Con base en esta notación, podemos escribir la velocidad media como:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

La rapidez se refiere a qué tan rápido sucede el movimiento.

La velocidad media se refiere tanto a la rapidez como a la dirección del movimiento.

En el ejemplo, la rapidez media medida en los primeros 40 metros es de 8 m/s y la velocidad es de 8 m/s hacia la derecha.

Tanto la rapidez como la velocidad, en el S.I., se expresan en **metros por segundo** (m/s) o **kilómetro por hora** (km/h).

De acuerdo con los cálculos realizados, podemos afirmar que en los primeros 4 segundos, el móvil se movió con velocidad de 8 m/s, en la dirección mostrada en la figura, sin embargo, no podemos asegurar que se mantuvo la misma velocidad durante todo el intervalo de tiempo.

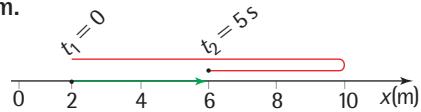
Para obtener la velocidad en cada instante, calculamos la **velocidad instantánea**, hacemos las mediciones de tiempo para intervalos muy pequeños, cuanto más pequeño sea el intervalo de tiempo más se aproxima a instante.



Fig.2.10. El velocímetro indica la rapidez instantánea. Si indicamos hacia dónde se mueve el objeto, tenemos la velocidad instantánea.

## Ejemplo

En la siguiente gráfica se muestra la trayectoria seguida por un objeto que parte en  $x = 2$  m.



Determina:

- a. El desplazamiento.
- b. La distancia recorrida.
- c. La rapidez media.
- d. La velocidad media.

Solución

- El desplazamiento está dado por:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 6 \text{ m} - 2 \text{ m} = 4 \text{ m.}$$

- La distancia recorrida es igual a 12 m.

- La rapidez media es:

$$\text{Rapidez media} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Tiempo transcurrido}} = \frac{12 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 2,4 \text{ m/s}$$

- La velocidad media es igual a:

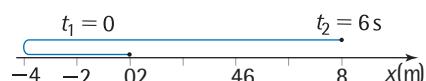
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{4 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 0,8 \text{ m/s a la izquierda.}$$



© Somillana

## Ti Trabajo individual

Para la situación mostrada en la gráfica, determina:



- a. El desplazamiento.
- b. La distancia recorrida.
- c. La rapidez media.
- d. La velocidad media.

## LA ACCELERACIÓN

En la mayoría de movimientos la velocidad no permanece constante, los objetos en movimiento aumentan la velocidad o frenan. Estos cambios se describen mediante una magnitud denominada **aceleración**.

En el ejemplo de la carrera de autos (fig.2.11), una vez que toma la salida, el automóvil cambia la velocidad como se muestra en la tabla. En el velocímetro los registros de la rapidez, en cada uno de los tiempos indicados, muestran que la velocidad aumenta progresivamente. En este caso hay aceleración.

**La aceleración  $a$  es la variación de velocidad que experimenta un móvil en la unidad de tiempo determinada.**

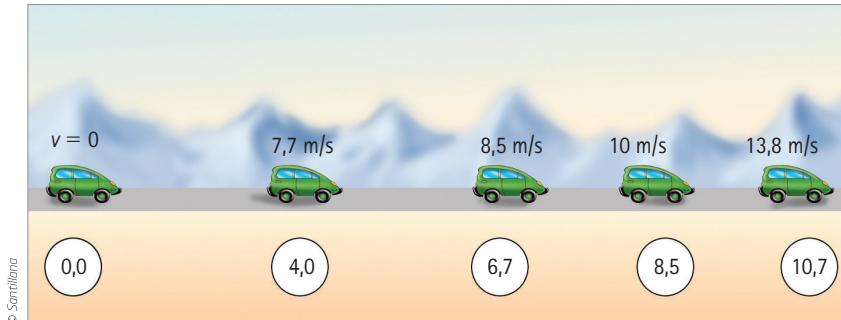
Es decir:

$$\vec{a} = \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

## T Tarea

Responde.

¿Cómo puedes interpretar una velocidad negativa?



© Santillana

Fig. 2.11. Si determinamos las variaciones de la velocidad con respecto al tiempo, podemos determinar la aceleración.

	$v(\text{m/s})$	$t(\text{s})$	$\Delta v(\text{m/s})$
1	7,7	4,0	$7,7 - 0 = 7,7$
2	8,5	6,7	$8,5 - 7,7 = 0,8$
3	10,0	8,5	$10,0 - 8,5 = 1,5$
4	13,8	10,7	$13,8 - 10,0 = 3,8$
$\Delta t = t_2 - t_1$			$\frac{\Delta v}{\Delta t} (\text{m/s}^2)$
1	4,0 - 0 = 4,0		1,9
2	6,7 - 4,0 = 2,7		0,3
3	8,5 - 6,7 = 1,8		0,8
4	10,7 - 8,5 = 2,2		1,7

Puesto que en el SI la velocidad se mide en m/s y el tiempo se mide en segundos, la  $\Delta v$  es equivalente a la unidad  $\text{m/s}^2$ .

Es decir, que la unidad de aceleración en el SI es el metro sobre segundo al cuadrado ( $\text{m/s}^2$ ).

Ya que la aceleración de un objeto puede variar, nos referimos a la aceleración de un cuerpo en un instante determinado como aceleración instantánea.

### Ejemplo

Determina la aceleración de un automóvil que se encuentra inicialmente en reposo y que aumenta uniformemente su velocidad a 36 km/h en 10 segundos.

#### Solución

Para trabajar en el Sistema Internacional, inicialmente expresamos la velocidad de 36 km/h en m/s.

$$36 \text{ km/h} = \frac{36 \cdot 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$$

Por tanto la aceleración es

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{10 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$$

### Tc Trabajo cooperativo

Formen un grupo de tres compañeros y resuelvan los problemas.

- Si el móvil se mueve en la dirección positiva del eje x, digamos hacia la derecha, ¿qué interpretación tiene una aceleración negativa?
- Determina la aceleración de un automóvil, que inicialmente se mueve a 72 km/h y que al aplicar los frenos se detiene en 5 segundos.

# Movimientos de trayectoria unidimensional

## Destrezas con criterio de desempeño:

- Resolver situaciones problemáticas, a partir del análisis del movimiento y de un correcto manejo de ecuaciones de cinemática.
- Dibujar y analizar gráficas de movimiento, con base en la descripción de las variables cinemáticas implícitas y con base en la asignación del significado físico de las pendientes y de las áreas en los gráficos de movimiento.

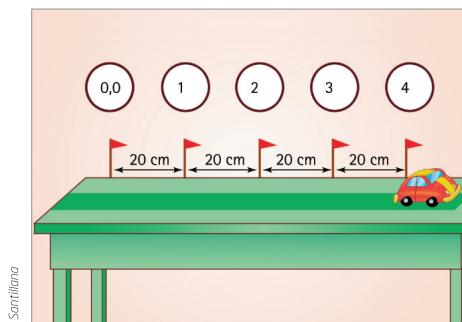


Fig. 2.12. El carro recorre distancias iguales en tiempos iguales.

## EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

Analizamos este tipo de movimiento con la siguiente experiencia: Al cronometrar los tiempos del carrito de la figura 2.12 en los puntos señalados, se obtienen los valores que figuran en la tabla anexa. Estos valores sugieren que la rapidez del carro ha permanecido constante durante todo el recorrido. A todo movimiento que cumpla esta condición se le llama movimiento **uniforme**.

**Un cuerpo describe un movimiento rectilíneo uniforme cuando su trayectoria descrita es una línea recta y su rapidez es constante.**

$x(m)$	$t(s)$	$\Delta x(m)$	$\Delta t(s)$	$\frac{\Delta x}{\Delta t}$ (m/s)
0,20	1	0,20	1	0,20
0,40	2	0,20	1	0,20
0,60	3	0,20	1	0,20
0,80	4	0,20	1	0,20

## ECUACIONES DEL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

Si la velocidad instantánea  $v$ , siempre es la misma, su medida debe coincidir con la medida de la velocidad media,  $v$

Como la velocidad media se ha definido como:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Para el movimiento uniforme, la velocidad instantánea en cualquier tiempo se expresa mediante:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta x}}{\Delta t}$$

Entonces, el desplazamiento en dicho intervalo es:

$$\Delta x = vt$$

## ANÁLISIS GRÁFICO DEL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

El análisis gráfico es una forma de describir los movimientos. Veamos cómo representar el movimiento rectilíneo uniforme con gráficas posición-tiempo ( $x-t$ ) y gráficas velocidad-tiempo ( $v-t$ ). En las gráficas  $x-t$ , se representa el tiempo en el eje horizontal y la posición en el eje vertical. En las gráficas  $v-t$  se representa el tiempo en el eje horizontal y la velocidad en el vertical.

### • Gráficas posición-tiempo ( $x-t$ ) para el movimiento rectilíneo uniforme

La gráfica posición-tiempo de la figura 2.13a corresponde a un movimiento rectilíneo uniforme. Verifiquemos que el movimiento es uniforme. En  $t = 0$  s se encuentra en  $x = 0$ , en  $t = 1$  s se encuentra en  $x = 0,20$  m, en  $t = 2$  s se encuentra en  $x = 0,40$  m y así sucesivamente, para mostrar que en cada segundo se desplaza 0,20 m. Es decir, que la velocidad es 0,20 m/s.

Al calcular la pendiente de la recta mostrada se elige dos puntos, (1,0 s, 0,20 m), y (3,0 s, 0,60 m) y se obtiene:

$$\text{Pendiente} = \frac{0,60 \text{ m} - 0,20 \text{ m}}{3 \text{ s} - 1 \text{ s}} = 0,20 \text{ m/s}$$

## @ TIC

Busca gráficas de movimiento entra a la página *educapplus* en [goo.gl/wcB3k](http://goo.gl/wcB3k).

## Tc Trabajo cooperativo

Junto con un compañero planteen ejemplos de situaciones en las cuales haya objetos que se mueven en línea recta con velocidad constante.

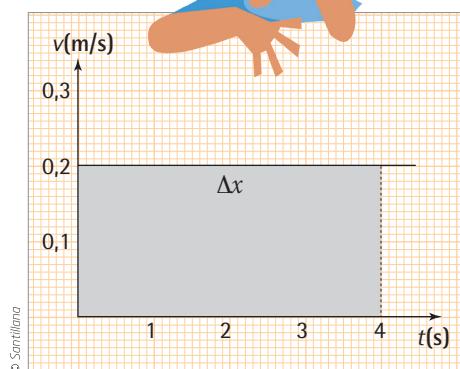
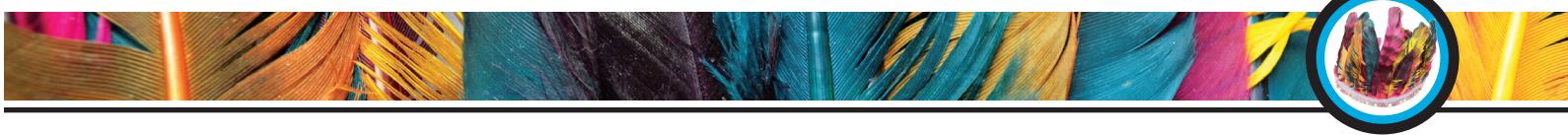


Fig.2.14. Gráfica velocidad-tiempo para el movimiento uniforme.

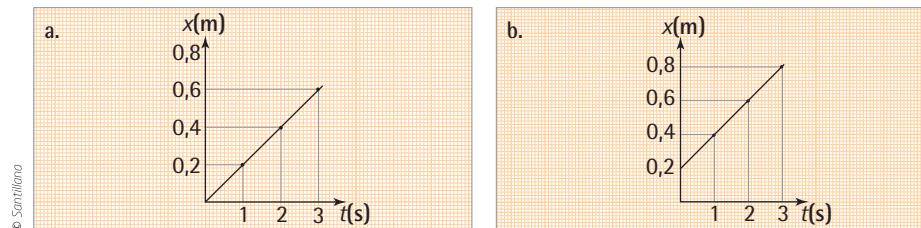


Fig.2.13. Gráficas posición-tiempo para el movimiento uniforme.

La pendiente de la recta posición-tiempo coincide con la medida de la velocidad del móvil.

Al repetir el cálculo para otros intervalos de tiempo se obtiene que la pendiente de la recta siempre tiene el mismo valor, es decir, 0,20 m/s, valor que corresponde a la velocidad del móvil.

Supongamos que en  $t = 0$  el carrito se encuentra en  $x = 0,2\text{ m}$  y no en  $x = 0$ , pero que se mueve con velocidad constante, entonces la gráfica posición-tiempo es un segmento de recta que no pasa por el origen de coordenadas (fig.2.13b). Sin embargo, la pendiente de la recta es 0,20.

#### • Gráficas velocidad-tiempo (-) para el movimiento uniforme

Cuando un objeto tiene movimiento uniforme, su velocidad es constante y la gráfica  $v-t$  es un segmento de recta horizontal como el que se muestra en la figura 2.14.

A partir de la tabla de la figura 12, podemos determinar que el desplazamiento del móvil que se mueve con velocidad de 0,20 m/s durante 4 s es 0,80 m. Pero también podemos determinarlo a partir de la expresión:

$$\Delta x = vt = 0,20 \text{ m/s} \cdot 4 \text{ s} = 0,80 \text{ m}$$

En la figura 14, el área del rectángulo determinado por el eje horizontal entre 0 s y 4 s y el segmento que representa la velocidad, se obtiene multiplicando su altura (la velocidad = 0,20 m/s) por su base (el intervalo de tiempo = 4 s).

Dicha área es igual a  $vt$ , es decir, al desplazamiento. Por tanto:

**En una gráfica velocidad-tiempo, el área comprendida entre la curva y el eje horizontal corresponde al desplazamiento del móvil.**

En cualquier gráfica velocidad-tiempo, como la que se muestra en la figura 15a, podemos trazar rectángulos de base muy pequeña, suponiendo que el movimiento se realiza por tramos con velocidad constante, y la suma de las áreas de estos rectángulos se approxima al desplazamiento del automóvil. Cuanto más pequeña sea la base de los rectángulos, más se approxima el área al desplazamiento del móvil (fig.2.15b).

### Tarea

Responde las preguntas.

- ¿Cómo es la aceleración de un movimiento rectilíneo uniforme?
- ¿Encuentras alguna relación entre este valor y el hecho de que la gráfica velocidad-tiempo en este caso sea un segmento de recta horizontal?

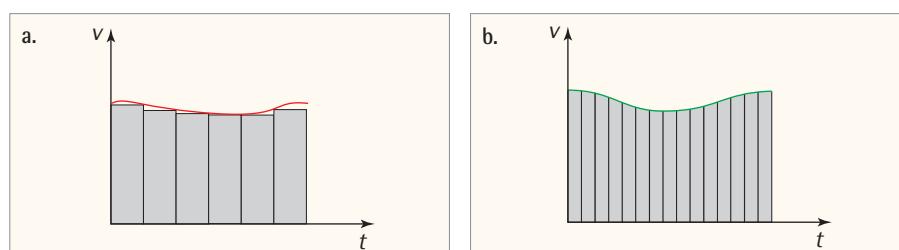


Fig.2.15. En cualquier gráfica velocidad-tiempo, el área bajo la curva representa el desplazamiento del móvil.

## EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO

Supongamos que los autos de Fórmula 1 de la figura 2.16 acaban de tomar la salida de una competencia y comienzan a acelerar. En la parte superior de la figura se observa, en diferentes instantes de tiempo, la marcación del velocímetro de uno de los automóviles participantes.

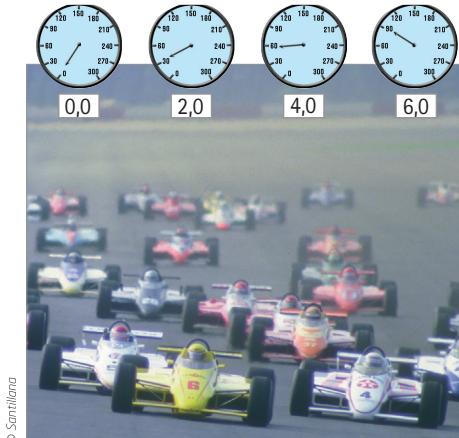
Observa que la rapidez tiene cambios iguales en iguales intervalos de tiempo. Al calcular la aceleración del automóvil en cada uno de los tres intervalos de tiempo, se cumple que su valor siempre es el mismo, es decir, que la aceleración es constante. En este caso decimos que el movimiento es uniformemente variado.

**Un cuerpo describe un movimiento rectilíneo uniformemente variado cuando su velocidad está sobre una recta y, a la vez, su aceleración es constante y no nula.**

Cuando un cuerpo describe un movimiento rectilíneo uniformemente variado, puede suceder que aumente o disminuya su rapidez.

Si los vectores aceleración y velocidad tienen el mismo sentido, el móvil aumenta su rapidez.

Si los vectores aceleración y velocidad tienen sentido contrario, el móvil disminuye su rapidez.



© Santillana

Fig.2.16. Los automóviles aceleran a la salida de la prueba.

## ECUACIONES DE MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE VARIADO

Si la velocidad de un móvil cuando el cronómetro indica  $t = 0$  s es  $v_o$  y al cabo de determinado tiempo  $t$ , la velocidad es  $v$ , podemos escribir

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_o}{t - 0}, \text{ por tanto, } a = \frac{v - v_o}{t}, \text{ es decir, } v = v_o + a \cdot t$$

Esta ecuación muestra la dependencia de la velocidad con respecto al tiempo cuando la aceleración es constante y el móvil se mueve inicialmente con velocidad  $v_o$ .

### Ejemplo

Un automóvil empieza a moverse con aceleración constante y al cabo de 1 s alcanza una velocidad de 30 km/h.

¿Cuál es su aceleración?

Solución

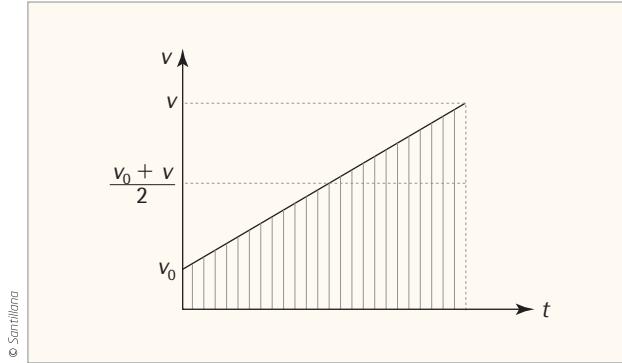
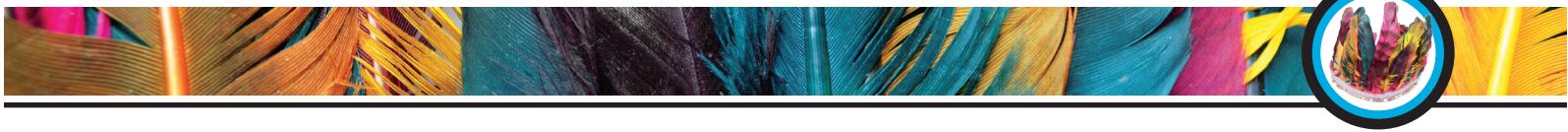
$$\text{Dado que } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, a = \frac{30 - 0 \text{ km/h}}{1 \text{ s}}, \text{ de donde: } a = \frac{30 \text{ km/h}}{1 \text{ s}}, a = 8,33 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

### Ti Trabajo individual

A partir de las áreas marcadas en la gráfica de la figura 2.17, justifica por qué el desplazamiento es el mismo que si el móvil se hubiera movido durante el intervalo de tiempo con velocidad igual al promedio entre  $v_o$  y  $v$ .

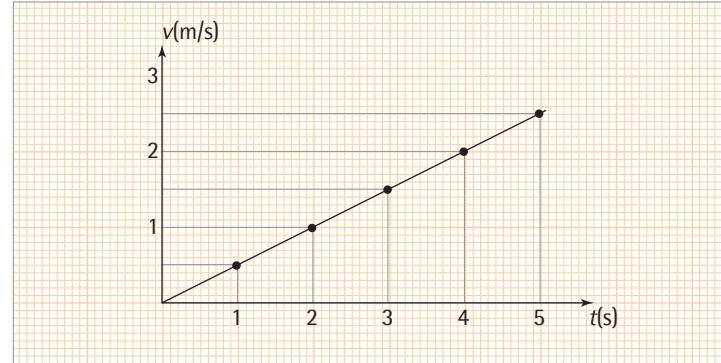
## ANÁLISIS GRÁFICO DEL MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE VARIADO

Un objeto se mueve con determinada velocidad  $v_o$  cuando el cronómetro indica  $t = 0$  s, y aumenta su velocidad uniformemente hasta alcanzar una velocidad  $v$  en determinado tiempo  $t$ , en cada unidad de tiempo, la velocidad aumenta en la misma cantidad, y así la gráfica de velocidad en función del tiempo es una recta (fig.2.17). En este caso, el desplazamiento es el mismo que si el móvil se hubiera movido durante el intervalo de tiempo con velocidad igual al promedio entre  $v_o$  y  $v$ .



© Santillana

Fig.2.17. El desplazamiento de un móvil cuando su velocidad cambia uniformemente de  $v_0$  a  $v$ , es el mismo que si hubiera mantenido su velocidad constante e igual al promedio de  $v$  y  $v_0$ .



© Santillana

Fig.2.18. Gráfica de velocidad en función del tiempo para un movimiento uniforme variado, es decir cuando la aceleración es constante. Observa que por cada unidad de tiempo transcurrido, la variación en la velocidad es igual.

Se puede considerar que un movimiento rectilíneo uniformemente variado, en el cual las velocidades inicial y final son respectivamente  $v_0$  y  $v$ , sucede con velocidad igual al promedio de dichas velocidades.

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

Puesto que en un movimiento uniforme  $\Delta x = v_p \cdot t$ , en este caso podemos escribir

Por tanto,

$$\Delta x = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t, \text{ como } v = v_0 + at$$

$$\Delta x = \frac{v_0 + v_0 + a \cdot t}{2} \cdot t$$

Luego,

$$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2}$$

Esta ecuación muestra la dependencia del desplazamiento con respecto al cuadrado del tiempo, cuando la aceleración es constante y el móvil se mueve inicialmente con velocidad  $v_0$ .

## Tarea



© Santillana

A partir de las ecuaciones para la velocidad y el desplazamiento de un movimiento uniformemente variado, demuestra que:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$$

### • Cálculo de la aceleración a partir de la gráfica de v-t

En la figura 2.18 se muestra la representación gráfica  $v-t$  del movimiento de un cuerpo que experimenta aceleración constante, es decir, que en cada unidad de tiempo cambia su velocidad en la misma cantidad. Se puede observar que es un segmento de recta cuya pendiente es:

$$\text{Pendiente} = \frac{v - v_0}{t}$$

la cual coincide con la aceleración, por tanto:

**En una gráfica de velocidad-tiempo de un movimiento rectilíneo uniformemente variado, la pendiente de la recta coincide con la aceleración.**

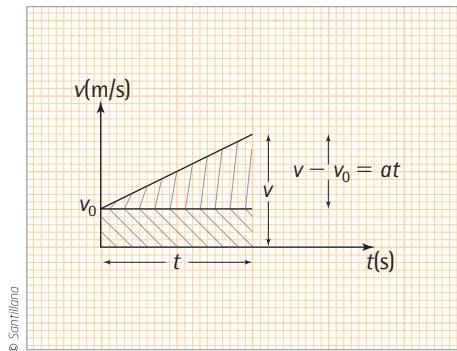


Fig.2.19. El área comprendida entre la gráfica  $v$ - $t$  y el eje horizontal representa el desplazamiento.

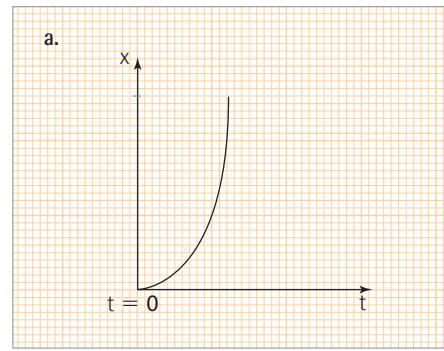


Fig.2.20. Gráficas representando el desplazamiento ( $x$ ) en función del tiempo ( $t$ ), para movimientos uniformemente variados. a. Aumenta la velocidad. b. Disminuye la velocidad.

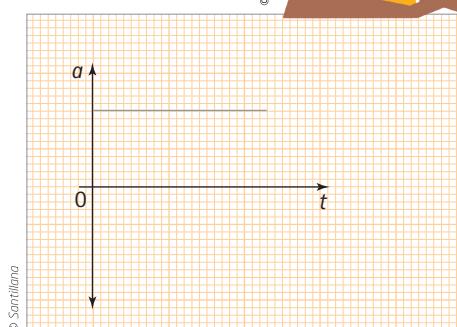
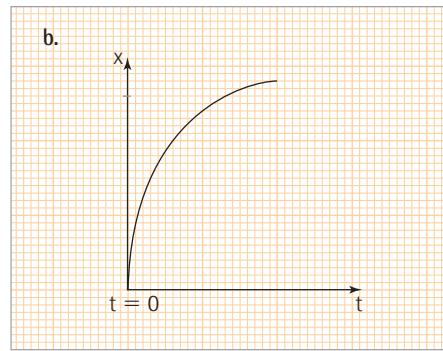


Fig.2.21. Gráfica  $a$ - $t$  para un movimiento uniformemente variado con aceleración positiva.

#### • Cálculo del desplazamiento a partir de la gráfica de $v$ - $t$

La ecuación para el desplazamiento  $\Delta x$  se puede deducir a partir del cálculo del área que queda por debajo de la gráfica velocidad-tiempo. Para ello, observa la figura 2.19.

El área es

$$\Delta x = \text{Área rectángulo} + \text{Área triángulo}$$

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

Luego,

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

Al construir la representación gráfica  $x$ - $t$  para el movimiento uniformemente variado, obtenemos una parábola, puesto que la relación entre el desplazamiento y el tiempo tiene un término elevado al cuadrado,  $t^2$ . En la figura 2.20a, si la aceleración tiene el mismo sentido de la velocidad, el móvil cambia de posición cada vez más rápido mientras que si la aceleración tiene sentido contrario al de la velocidad, el móvil cambia de posición cada vez más lento (fig.2.20b).

#### • Gráfica de aceleración-tiempo ( $a$ - $t$ ) en el movimiento uniformemente variado

Para representar la aceleración en una gráfica  $a$ - $t$ , el eje vertical es la aceleración y el horizontal el tiempo. Puesto que el movimiento uniformemente variado ocurre con aceleración constante, la gráfica obtenida es un segmento de recta horizontal (fig.2.21).

Observa que a partir de la expresión:

$$v = v_0 + a \cdot t, \text{ o lo que es lo mismo,}$$

$$v - v_0 = a \cdot t \text{ obtenemos que}$$

$$\Delta v = a \cdot t$$

En la gráfica de  $a$ - $t$  podemos determinar la velocidad a partir del área comprendida entre la recta y el eje horizontal.

**El área comprendida entre la gráfica de velocidad-tiempo y el eje horizontal corresponde al desplazamiento del móvil.**



Si quieres saber más sobre gráficas de movimiento, entra a la página [Cruzar el río en goo.gl/HfNZA](http://Cruzar el río en goo.gl/HfNZA).

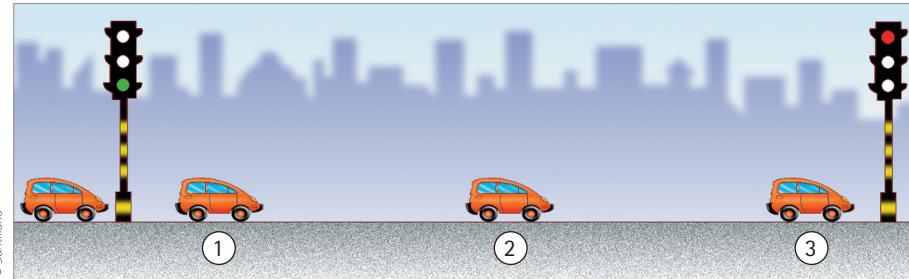
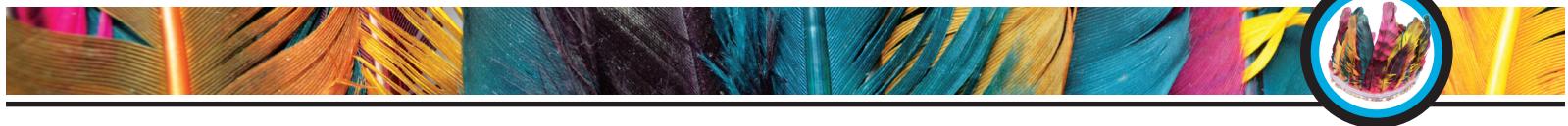


Fig.2.22. El carro se mueve en tres tramos, en el primero aumenta su velocidad, en el segundo mantiene su velocidad constante y en el tercero se detiene con aceleración constante.

### Ejemplo

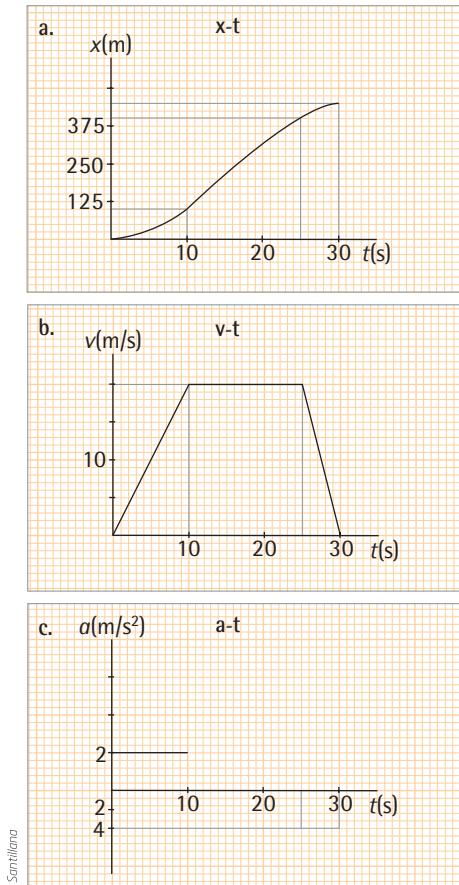


Fig.2.23. Gráficas: a. x-t, b. v-t y c. a-t.

Un carro inicialmente detenido, se pone en movimiento y aumenta uniformemente su velocidad hasta que al cabo de 10 s alcanza 20 m/s. A partir de ese instante, la velocidad se mantiene constante durante 15 s, después de los cuales el conductor disminuye uniformemente la velocidad hasta detenerse a los 5 s de haber comenzado a frenar (fig.2.22). Teniendo en cuenta que el movimiento ha sido rectilíneo, calcula la aceleración del carro en cada intervalo de tiempo y el desplazamiento entre los dos semáforos. Construye las gráficas x-t, v-t y a-t.

#### Solución

##### Intervalo 1

$$\text{Aceleración: } a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{20 \text{ m/s} - 0}{10 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$$

Desplazamiento: a partir de la ecuación para el desplazamiento podemos escribir:  $\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{2 \text{ m/s}^2 \cdot (10 \text{ s})^2}{2} = 100 \text{ m}$

##### Intervalo 2

La velocidad se mantiene constante, por lo que la aceleración es nula.

$$\Delta x = v \cdot t = 20 \text{ m/s} \cdot 15 \text{ s} = 300 \text{ m}$$

##### Intervalo 3

$$\text{Aceleración: } a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - 20 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -4 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Desplazamiento: } \Delta x = v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2} = 20 \text{ m/s} \cdot 5 \text{ s} - \frac{4 \text{ m/s}^2 \cdot (5 \text{ s})^2}{2} = 50 \text{ m}$$

El desplazamiento total:  $100 \text{ m} + 300 \text{ m} + 50 \text{ m} = 450 \text{ m}$  (fig.2.23a-c).

### L Lección

Resuelve el problema.

Un automóvil arranca con aceleración de  $1,5 \text{ m/s}^2$  y mantiene ese valor durante 10 segundos. A continuación, su velocidad permanece constante durante 3 minutos, al cabo de los cuales el conductor frena con desaceleración de  $2,5 \text{ m/s}^2$  hasta detenerse.

- Calcula el tiempo total que dura el movimiento.
- Determina la distancia total recorrida.
- Construye las gráficas x-t, v-t y a-t.

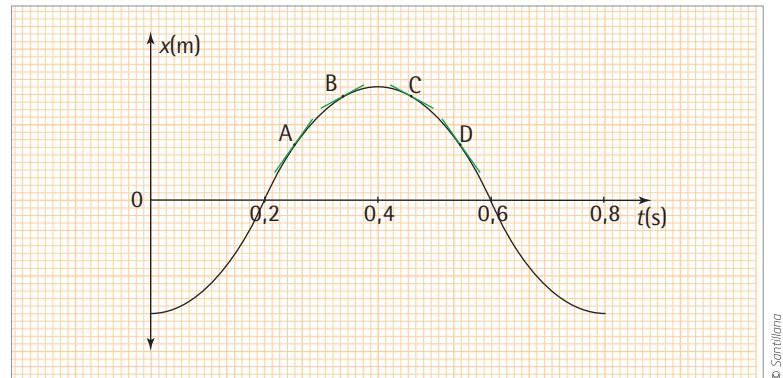
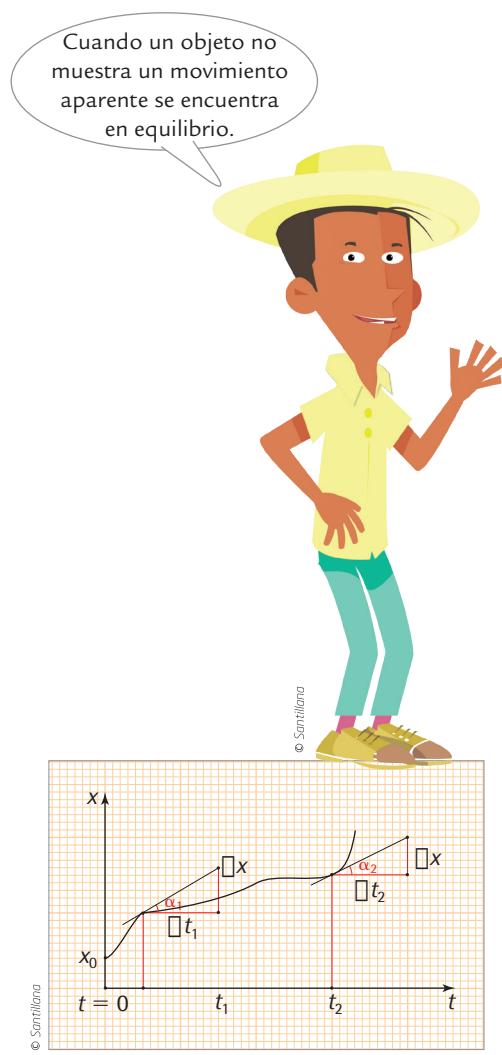


Fig.2.24. Gráfica  $x$ - $t$  para el movimiento de un objeto atado a un resorte.

### UN EJEMPLO DE MOVIMIENTO NO UNIFORMEMENTE ACERADO

Considera el movimiento de un objeto atado a un resorte que oscila entre los valores  $-20$  cm y  $20$  cm. La gráfica  $x$ - $t$  se muestra en la figura 24.

Inicialmente, el resorte está sin estirar ni comprimir. A esta posición se le conoce con el nombre de **posición de equilibrio**. El objeto se aleja  $20$  cm hacia abajo de la posición de equilibrio y se suelta. Entonces el objeto, sujeto al resorte se mueve de tal manera que a los  $0,2$  segundos pasa por la posición de equilibrio. Luego, a los  $0,4$  s está a  $20$  cm por encima de la posición de equilibrio, regresa a la posición de equilibrio a los  $0,6$  segundos y vuelve al punto de partida a los  $0,8$  s.

Analizar la velocidad del objeto. En los instantes  $0,4$  s y  $0,8$  s, el objeto cambia la dirección del movimiento, esto implica que en dichos instantes tiene velocidad igual a cero.

Recuerda que si la gráfica posición-tiempo es una recta, la pendiente representa la medida de la velocidad del objeto, pero cuando la velocidad no es constante, la gráfica  $x$ - $t$  no es una recta, entonces la pendiente de la tangente a la curva en cada instante indica una medida de la velocidad instantánea correspondiente, ésta es la pendiente de la recta tangente a la curva en cada punto (fig.2.25).

Para el caso del movimiento del objeto sujeto al resorte, debemos trazar rectas tangentes a la curva  $x$ - $t$  para determinar sus pendientes, de tal manera que el valor de la pendiente sea la medida de la velocidad en cada punto. Observa que la velocidad varía. Por ejemplo, en el instante de tiempo correspondiente al punto A, la velocidad es mayor que en el instante de tiempo correspondiente al punto B. Esto quiere decir que entre  $0,2$  s y  $0,4$  s la velocidad disminuye hasta tomar el valor de  $0$  en  $t = 0,4$  s (fig.2.24).

Al analizar el movimiento entre los tiempos  $0,4$  s y  $0,6$  s encontramos que aunque la velocidad es negativa, la posición cambia más rápido en el instante de tiempo correspondiente al punto D que en el instante de tiempo correspondiente al punto C.

Si realizamos el análisis entre los instantes de tiempo  $0,6$  s y  $0,8$  s, encontramos que la posición cambia cada vez más lentamente, hasta tener velocidad igual a cero en el instante  $t = 0,8$  s.

Observa que en los instantes de tiempo  $t = 0,2$  s y  $t = 0,6$  s el objeto se mueve más rápido puesto que alrededor de dichos instantes, el cambio de posición se produce con mayor rapidez (fig.2.24).

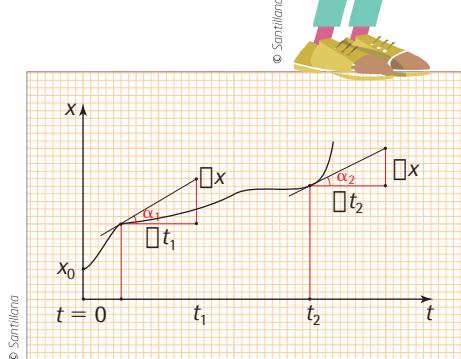


Fig.2.25. La pendiente de la tangente a la curva  $x$ - $t$  en un punto indica el valor de la velocidad instantánea en el momento correspondiente.

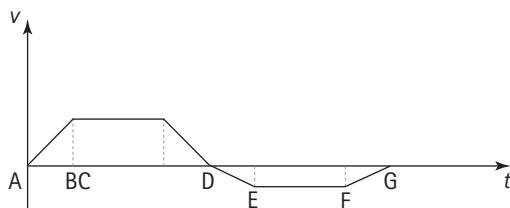


## Actividades

Analiza gráficos de movimiento rectilíneo.

1. La gráfica - corresponde al movimiento de un cuerpo sobre una línea recta representada por el eje  $t$ . Indica los intervalos o los instantes de tiempo en los cuales:

- El cuerpo se mueve hacia la dirección positiva del eje  $x$ .
- El cuerpo aumenta su rapidez.
- El cuerpo disminuye su rapidez.
- El cuerpo se mueve con velocidad constante.
- El cuerpo se encuentra quieto.



Analiza datos de una tabla.

2. En la tabla aparecen las distancias a las cuales se encuentra un automóvil con respecto al origen del sistema de referencia en cada instante:

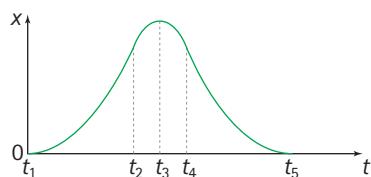
(s)	0	2	4	6	8	10
(m)	2	20	38	56	74	92

¿Cuál es el valor de la velocidad media del automóvil en cada intervalo de tiempo?

Analiza gráficos de movimiento rectilíneo.

3. La figura muestra la gráfica posición-tiempo de un cuerpo que se mueve en línea recta. Indica:

- En qué intervalo de tiempo se aleja del punto de partida?
- En qué intervalo de tiempo se acerca al punto de partida?
- En qué intervalo de tiempo la rapidez aumenta?
- En qué intervalo de tiempo la rapidez disminuye?
- En qué intervalo de tiempo la rapidez es cero?



## I Investiga

Determina la aceleración.

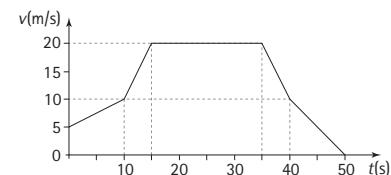
1. ¿Es posible que un cuerpo esté en movimiento y que su aceleración sea nula? ¿Por qué?

Analiza gráficos de movimiento rectilíneo.

2. La siguiente gráfica velocidad-tiempo muestra el movimiento rectilíneo de un automóvil.

Contesta:

- ¿Cuánto tiempo ha estado el automóvil en movimiento?
- ¿Qué tipo de movimiento ha descrito en cada tramo del trayecto?
- ¿Cuál es el valor de la aceleración en cada tramo?
- ¿Cuál es la distancia total recorrida?
- ¿Cuál es el valor del desplazamiento total?



## L Lección

Resuelve problemas de movimiento rectilíneo.

- ¿Es posible que un móvil disminuya la aceleración y mientras tanto aumente la velocidad? ¿Por qué?
- Si un automóvil se somete a una aceleración constante durante 3 s, ¿en qué caso el automóvil recorre mayor distancia durante el primer segundo o durante el tercer segundo?

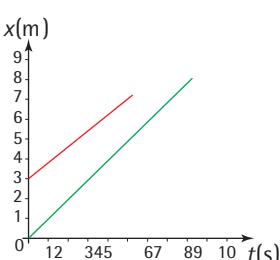
Analiza gráficos de movimiento rectilíneo.

3. En el plano cartesiano se han representado las gráficas  $x-t$  correspondientes al movimiento de dos cuerpos. Si los movimientos continúan de la misma manera, responde:

- ¿A qué hora ocuparán, simultáneamente, la misma posición?

- ¿Cuál de los dos tiene mayor velocidad?

- ¿Cómo son sus aceleraciones?



# Problemas de ampliación

Diferencia distancia y desplazamiento, rapidez y velocidad.

**1. Responde las preguntas y justificalas con un ejemplo.**

- ¿Cuándo un móvil recorre distancias iguales en intervalos de tiempo iguales, hay cambio de velocidad?
- ¿En un movimiento rectilíneo uniforme, la medida de la trayectoria siempre coincide con la medida del desplazamiento?
- ¿En el movimiento rectilíneo uniforme, la aceleración es igual al cambio de velocidad?

Representa con gráficos el movimiento rectilíneo.

**2. Realiza los posibles gráficos que representarían a un movimiento rectilíneo uniforme y el rectilíneo variado.**

Reconoce las ecuaciones del movimiento rectilíneo.

**3. Escribe todas las ecuaciones de movimiento uniforme rectilíneo.**

Detecta la existencia de aceleración en un movimiento.

**4. Escribe un ejemplo que describa un movimiento con aceleración nula.**

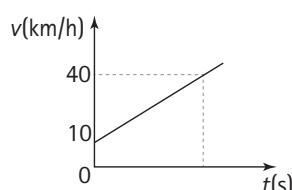
Resuelve ejercicios relacionados con movimiento rectilíneo, aplicando las ecuaciones respectivas.

**5. Dos vehículos se mueven separados inicialmente por 200 m. El vehículo que se adelante viaja a 20 m/s. Calcula:**

- La rapidez del móvil de atrás si lo alcanza a los 15 s.
- En cuánto tiempo y a qué distancia lo alcanza si la rapidez del vehículo de atrás es de 35 m/s.

Analiza y diseña gráficas de movimiento, incluyendo el uso de pendientes.

**6. El gráfico v-t representa el movimiento de un motociclista. ¿Cuánto tiempo demora en recorrer el trayecto si se sabe que recorre 450 m?**



Resuelve ejercicios relacionados con caída libre

**7. Responde: ¿De qué altura se deja caer un cuerpo que tarda 6 s en tocar el suelo?**

Describe el efecto de la resistencia del aire sobre el movimiento de un objeto.

**8. Desde un edificio de 15 m se deja caer una piedra.**

- ¿Cuánto tiempo tarda en llegar al suelo?
- ¿Cuál es su velocidad un instante antes de tocar el suelo?

Resuelve ejercicios relacionados con movimiento rectilíneo, aplicando las ecuaciones respectivas.

**9. Una persona que se encuentra en un automóvil que se mueve con rapidez constante deja caer una piedra por fuera de la ventanilla. Describe la trayectoria de la piedra al caer vista por:**

- La persona que está dentro del automóvil.
- Una persona que se encuentra fuera del automóvil.

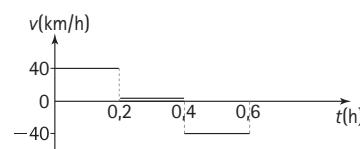
**10. Plantea un ejemplo del análisis de una situación en la que la Luna se pueda considerar como un objeto puntual y otra en la que no.**

**11. En qué condiciones se puede afirmar que un cuerpo esté en movimiento aunque su posición no cambie respecto a otro.**

**12. Describe un sistema en el cual un mismo cuerpo se encuentre en reposo para un observador y en movimiento para otro.**

**13. ¿Un objeto puede tener simultáneamente una velocidad con dirección hacia el norte y una aceleración en la dirección contraria? Justifica tu respuesta.**

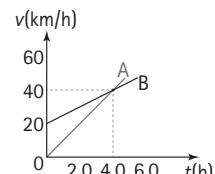
**14. En la siguiente gráfica se representa el movimiento de un automóvil a lo largo de una carretera recta. Escoge las afirmaciones que son ciertas y justifica tu respuesta.**



- De  $t = 0,2$  h a  $t = 0,4$  h el auto estuvo detenido.
- En  $t = 0,6$  h el auto regresa a su posición inicial.
- En  $t = 0$  el auto está a 40 km de su posición inicial.

Analiza y diseña gráficas de movimiento.

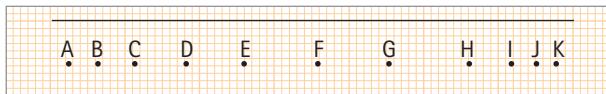
**15. Las gráficas representan el movimiento de dos móviles, A y B, que se mueven a lo largo de la misma carretera recta. En  $t = 0$ , los dos se encuentran en la misma posición. ¿Es correcto afirmar que al cabo de 4 horas ambos han recorrido la misma distancia?**





16. ¿Qué aceleración es mayor, la de un automóvil cuya rapidez cambia de 50 km/h a 60 km/h o la de una bicicleta cuya rapidez cambia de 0 a 10 km/h, en el mismo intervalo de tiempo, si se mueven en línea recta?

17. La figura muestra el rastro dejado por un ciclista a lo largo de una recta. Cada punto representa una marca que hizo en el piso un auxiliar del ciclista, a intervalos iguales de tiempo, para registrar su rapidez. De acuerdo con la figura:



- Registra el tramo donde el ciclista realizó el mayor desplazamiento.
- Determina los tramos en los cuales aceleró.
- Indica el tramo en el cual registró la mayor aceleración.

Resuelve ejercicios relacionados con movimiento rectilíneo, aplicando las ecuaciones respectivas.

18. ¿Por qué aparece la unidad de tiempo elevada al cuadrado en la unidad de aceleración?

19. ¿Qué distancia recorre un auto que viaja con rapidez constante de 72 km/h durante 20 minutos?

20. ¿Qué rapidez constante debe llevar un auto que recorre 12 km en media hora?

21. ¿Cuánto tarda un auto en recorrer 150 km a una rapidez promedio de 20 m/s?

22. Un tren cuya longitud es 50 m, se mueve con rapidez constante de 50 m/s. Si el tren necesita pasar por un túnel que tiene 100 m de largo, ¿cuánto tiempo se demora en salir completamente a partir del momento que está entrando al túnel?

23. Un objeto que parte del reposo aumenta su rapidez a razón de 2,5 m/s por cada segundo que transcurre. ¿Cuál es su aceleración? ¿Cuál es su rapidez a los 20 segundos?

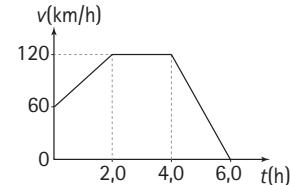
24. El conductor de un automóvil que se mueve a 72 km/h aplica los frenos y se detiene con aceleración constante después de 4 segundos. ¿Qué distancia recorrió mientras se detuvo?

25. La velocidad de las embarcaciones generalmente se mide en nudos; un nudo equivale a 1,8 km/h, ¿qué distancia recorre un velero que se mueve con una rapidez de 20 nudos durante 2 horas?

## L Lección

Analiza y diseña gráficas de movimiento, incluyendo el uso de pendientes.

1. La gráfica representa la rapidez de un automóvil en función del tiempo.



- ¿Cuál es la distancia recorrida entre  $t = 2,0$  h y  $t = 4,0$  h?
- ¿Cuál es la distancia recorrida entre  $t = 4,0$  y  $t = 6,0$  h?
- ¿Cuál es la velocidad media?

Resuelve ejercicios relacionados con movimiento rectilíneo, aplicando las ecuaciones respectivas.

2. Un cuerpo, cuya velocidad inicial es  $v_0$ , se mueve con movimiento uniformemente variado con aceleración  $a$  y recorre una distancia  $d$ . Demuestra que la velocidad  $v$  en cualquier instante, en función de  $a$ ,  $v_0$  y  $d$ , se expresa mediante  $v^2 = v_0^2 + 2a \cdot d$ .

3. Dos automóviles, A y B, se encuentran separados entre sí 200 km y se mueven respectivamente con rapidez constante a 30 km/h y a 45 km/h, uno hacia el otro. ¿A qué distancia de donde estaba el automóvil B ocuparán la misma posición?

4. Un automóvil se desplaza con rapidez de 72 km/h. Cuando el conductor ve una persona al frente, tarda 0,75 segundos en reaccionar, aplica los frenos y se detiene 4 segundos después. Si la persona se encontraba a 26 metros del automóvil cuando el conductor la vio, ¿alcanzará a ser atropellada?

## I Investiga

Resuelve ejercicios relacionados con movimiento rectilíneo, aplicando las ecuaciones respectivas.

Una persona observa el relámpago y a los cinco segundos escucha el trueno del rayo al caer. Si la velocidad del sonido es 340 m/s, ¿a qué distancia cayó el rayo? ¿Qué hipótesis se requiere para dar esta respuesta?

## Destreza con criterio de desempeño:

Conceptualizar distancia y desplazamiento, rapidez y velocidad, aceleración, a partir de la explicación del movimiento de los cuerpos en una dimensión.

## ¿CÓMO CAEN LOS CUERPOS?

### Conocimientos previos

Si dejamos caer una pelota de hule y una hoja de papel, al mismo tiempo y de la misma altura, observaremos que la pelota llega primero al suelo. Pero, si arrugamos la hoja de papel y realizamos de nuevo el experimento, observamos que los tiempos de caída de los dos cuerpos son casi iguales. ¿Por qué crees que ocurre esta diferencia de tiempos entre los dos casos?

A través de la historia, el ser humano ha estudiado la caída de los cuerpos y ha interpretado este movimiento a partir de sus propias concepciones. El movimiento de caída de los cuerpos es un caso particular del movimiento uniformemente variado.

Aristóteles, en el siglo IV a. C., consideraba que el movimiento de los cuerpos era un estado transitorio promovido por una cierta tendencia de las cosas a buscar su lugar natural en el Universo.

Una piedra caía porque buscaba su lugar natural en el suelo, mientras que las llamas tendían hacia arriba pues buscaban su lugar natural en el fuego divino de las estrellas.

Aristóteles afirmaba que las velocidades de caída de dos cuerpos diferentes en el mismo medio eran proporcionales al peso de cada cuerpo. Los cuerpos pesados, según Aristóteles, caían con más velocidad que los cuerpos ligeros pues su afinidad por la tierra era mayor y esta idea fue aceptada durante casi dos milenios.

En 1589, el italiano Galileo Galilei realizó una serie de experiencias para comprobar la veracidad de las teorías aristotélicas. Como la caída de un cuerpo se produce con gran rapidez y en aquella época no se disponía de mecanismos que pudieran medir pequeños intervalos de tiempo, Galileo realizó sus medidas utilizando esferas que hacía rodar sobre planos inclinados de pequeña pendiente. Para medir el tiempo que empleaban en el desplazamiento, contaba el número de gotas de agua que caían por el orificio de un depósito lleno de este líquido.

Mediante ese sistema, Galileo pudo comprobar que cuando las esferas eran lo suficientemente pesadas, todas ellas rodaban por el plano empleando el mismo tiempo en recorrerlo, es decir, que caían con la misma aceleración.

«Está claro que si una bola ligera tarda más tiempo en recorrer el plano que otra más pesada es debido a la resistencia que presenta el aire a su avance. Por eso, cuando las bolas rebasan un cierto peso, la resistencia del aire es despreciable para ellas y todas caen con idéntica rapidez».

(*BuenasTareas.com, Plataforma Santillana*).

De esta forma, Galileo demostró que en el caso ideal de que el movimiento se produjera en el vacío, todos los cuerpos caerían con la misma aceleración. Si la experiencia muestra lo contrario, es debido a la resistencia que presenta el aire al avance de los cuerpos en movimiento. Por ejemplo, una pluma cae más despacio que un trozo de metal debido a que el aire le opone una mayor resistencia y no porque pese menos o porque su afinidad con la tierra sea menor.

Estas observaciones cualitativas y cuantitativas acerca de la caída de los cuerpos, fueron sintetizadas por Newton en la Ley de la Gravitación Universal. (fig.2.26).



Fig.2.26. A través del análisis del movimiento de esferas por una superficie inclinada, Galileo obtuvo conclusiones para la caída libre.

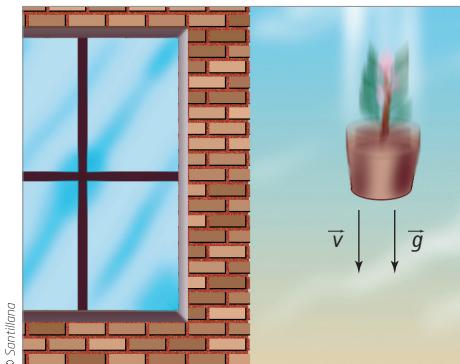


Fig.2.27. Los vectores velocidad y aceleración en el descenso.

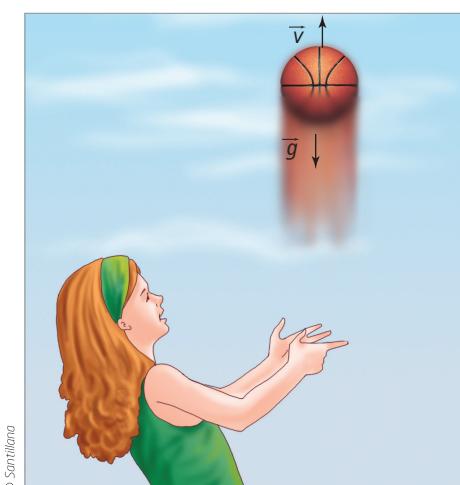


Fig.2.28. Los vectores velocidad y aceleración en el ascenso.

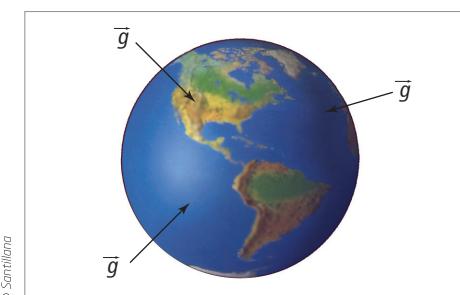


Fig.2.29. La aceleración de la gravedad es un vector dirigido hacia el centro de la Tierra.

## EL MOVIMIENTO VERTICAL

Cuando un cuerpo se deja caer en el vacío se desplaza verticalmente con una aceleración constante, lo que hace que su rapidez aumente uniformemente en la medida en que transcurre el tiempo de caída. Por esta razón, la caída de los cuerpos cerca de la superficie de la Tierra es un ejemplo particular de movimiento uniformemente variado.

¿Qué observamos cuando soltamos una piedra, dejándola caer? La velocidad de la piedra aumenta continuamente a medida que desciende (**fig.2.27**). Si, por el contrario, la tiramos hacia arriba, la piedra se va frenando a medida que asciende, hasta que se detiene e invierte su movimiento (**fig.2.28**).

En ambos casos se trata de un movimiento uniformemente variado, solo que en un caso la aceleración es positiva, mientras que en el otro, es negativa.

Los cuerpos que se encuentran cerca de la superficie terrestre experimentan una atracción que les imprime aceleración, llamada **aceleración de la gravedad**. La aceleración gravitacional, se representa con la letra  $g$ , y su valor promedio cerca de la superficie de la Tierra es  **$9,8 \text{ m/s}^2$**  en dirección hacia el centro de la Tierra, dirigida hacia abajo (**fig.2.29**).

La gravedad es el resultado de la interacción entre la masa de la Tierra y la masa de cualquier objeto cerca de esta. Se produce entonces una pareja de fuerzas acción-reacción. Sin embargo, dado que la masa de la Tierra es muy superior a la de cualquier cuerpo sobre su superficie, la fuerza dominante es aquella ejercida por la Tierra sobre los cuerpos y no la contraria.

El valor de la aceleración de la gravedad, dirigida siempre hacia abajo, depende de la distancia a la superficie terrestre y también de la latitud o distancia al ecuador.

¿Qué significa que la aceleración de la gravedad sea de  $9,8 \text{ m/s}^2$  hacia abajo? Significa que un cuerpo que se mueve en el vacío en dirección vertical cambia su velocidad en  $9,8 \text{ m/s}$  cada vez que transcurre un segundo. Si el cuerpo se desplaza hacia arriba, la velocidad del móvil disminuye  $9,8 \text{ m/s}$  en cada segundo que transcurre. Por eso, los cuerpos que son lanzados hacia arriba se van frenando a medida que ascienden.

Por ejemplo, en los datos de la tabla, en la tabla 2.1a a se muestran las medidas de la velocidad de un objeto que se lanza hacia arriba, con velocidad de  $29,4 \text{ m/s}$ . Si por el contrario, el cuerpo se desplaza hacia abajo, la velocidad del móvil aumentará en  $9,8 \text{ m/s}$  cada vez que transcurre un segundo. Por eso, los cuerpos que caen van aumentando su velocidad a medida que descienden. En la tabla 2.1b se muestran, segundo a segundo, los valores que toma la velocidad de un objeto que se deja caer desde una cierta altura.

a.	Tiempo	Velocidad (m/s)
	0	29,4
	1	19,6
	2	9,8
	3	0
	4	-9,8
	5	-19,6

b.	Tiempo	Velocidad (m/s)
	0	0
	1	9,8
	2	19,6
	3	29,4
	4	39,2
	5	49,0

Tabla 2.1. a. Velocidad de un objeto que se lanza hacia arriba. b. Velocidad de un objeto que se lanza hacia abajo.

## ECUACIONES Y GRÁFICOS DE CAÍDA LIBRE

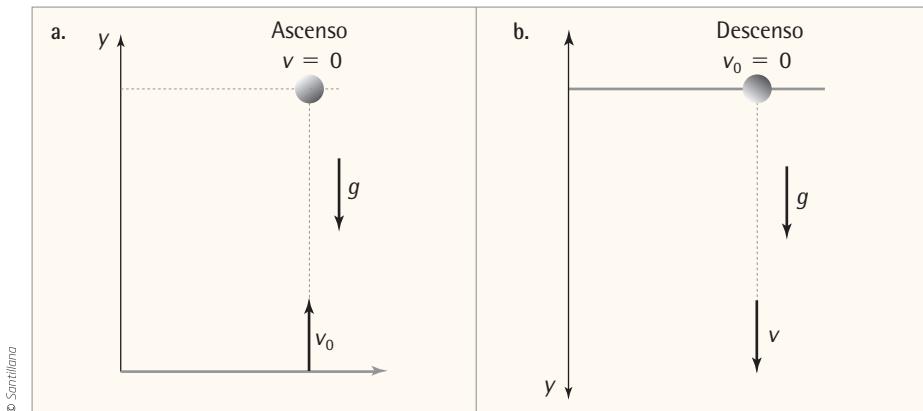


Fig.2.30a. El objeto ha sido lanzado hacia arriba, si la parte positiva del eje y se toma hacia arriba,  $g$  es igual a  $29,8 \text{ m/s}^2$ . b. El objeto ha sido lanzado hacia abajo, si la parte positiva del eje y se toma hacia abajo,  $g$  es igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

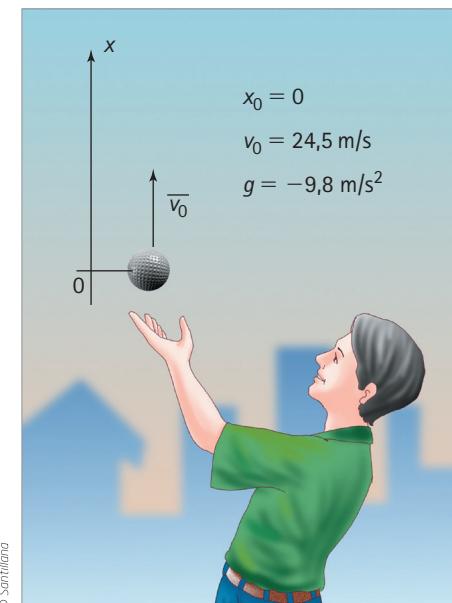


Fig.2.31. El objeto se lanza con velocidad de  $24,5 \text{ m/seg}$ .

© Santillana

## ECUACIONES

Las ecuaciones que describen el movimiento de los cuerpos que se mueven en el vacío en dirección vertical son las que corresponden a cualquier movimiento uniformemente acelerado, con el valor de la aceleración:  $9,8 \text{ m/s}^2$  hacia abajo. El signo de la aceleración depende del sistema de referencia que se elija, el cual mantendremos a lo largo del análisis de cada movimiento.

De esta manera, las ecuaciones que rigen el movimiento de caída libre de los objetos son:

$$v = v_0 + g \cdot t \quad y = v_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2}$$

La  $y$  es la letra que se utiliza para indicar el desplazamiento con respecto al punto desde el cual se considera el movimiento. Utilizamos esta letra pues es con la que cotidianamente se representa el eje vertical, el cual corresponde a la dirección de caída de los cuerpos.

Para el manejo de estas ecuaciones, si consideramos la parte positiva del eje y hacia arriba, la aceleración  $g$  es igual a  $-9,8 \text{ m/s}^2$  (fig.2.30a), mientras que si consideramos la parte positiva del eje y hacia abajo la aceleración de la gravedad  $g$  es igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$  (fig.2.30b).

## UN EJEMPLO DE LANZAMIENTO VERTICAL

Se lanza un objeto verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial enorme de  $24,5 \text{ m/s}$ . Encontremos la posición y la velocidad para los tiempos de  $1 \text{ s}$ ,  $2 \text{ s}$  y  $3 \text{ s}$  después de haber sido lanzado.

Si tomamos como sistema de referencia el ilustrado en la figura 2.31, con origen en el punto desde el cual parte el cuerpo, las ecuaciones que describen la velocidad y la altura para el movimiento son:

$$v = 24,5 \text{ m/s} - 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t \quad y = 24,5 \text{ m/s} \cdot t - \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t^2}{2}$$

### Ti Trabajo individual

En el movimiento de ascenso, la aceleración es contraria a la velocidad, ¿aumenta o disminuye la velocidad?



Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Altura (m)
0	24,5	0
1	14,7	19,6
2	4,9	29,4
3	-4,9	29,4

En la tabla se aprecian los valores de la velocidad y la altura de un objeto que se lanza verticalmente hacia arriba con velocidad de 24,5 m/s (fig.2.32).

¿Cómo se interpreta estos valores obtenidos? ¿Puede ser que en dos instantes el cuerpo tenga la misma posición? ¿Puede ser que la velocidad sea positiva y después negativa? Analicemos los resultados teniendo en cuenta el sistema de referencia que hemos elegido.

A los dos segundos, el cuerpo se encuentra en la posición 29,4 m. Puesto que la velocidad es positiva, el objeto se está moviendo en el sentido positivo, hacia arriba. En el instante tres segundos, el objeto pasa por el mismo punto, pero descendiendo, es decir, la velocidad es negativa. Debe haber entonces un instante en que el cuerpo se detiene para empezar a moverse en dirección contraria a la inicial. En el punto más alto que alcanza el cuerpo, es decir, en la *altura máxima*, la velocidad es igual a cero.

Entonces, de la ecuación de la velocidad tenemos:  $0 \text{ m/s} = 24,5 \text{ m/s} - 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t$  de donde  $t = 2,5 \text{ s}$

Es decir, el cuerpo alcanza su altura máxima a los 2,5 s como se puede observar en la gráfica de la figura 2.32.

Al remplazar el valor del tiempo en la ecuación para la altura obtenemos:

$$y = 24,5 \text{ m/s} \cdot (2,5 \text{ s}) - \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (2,5 \text{ s})^2}{2} = 30,6 \text{ m}$$

La altura máxima es de 30,6 m.

La forma que adopta la curva que representa la posición en función del tiempo corresponde a la parábola de la figura 2.33. Es importante destacar que, mientras que en la subida el cuerpo recorre distancias cada vez menores en intervalos de tiempo iguales, en el descenso sucede lo contrario. Esto se debe a que hasta la altura máxima la aceleración es contraria a la velocidad (el cuerpo se frena), mientras que después del tiempo en el que alcanza la altura máxima, la aceleración tiene el mismo sentido de la velocidad, por lo cual el cuerpo desciende cada vez más rápido.

Observa que el movimiento cambia antes y después del tiempo en el cual la altura es máxima y, sin embargo, la gráfica que determina la velocidad tiene una única pendiente, cuyo valor es  $-9,8 \text{ m/s}^2$  (fig.2.33). Los valores positivos de la velocidad corresponden al ascenso, mientras que los valores negativos de la velocidad corresponden al descenso. La recta corta al eje del tiempo justamente en el valor para el cual la altura es máxima (fig.2.34).

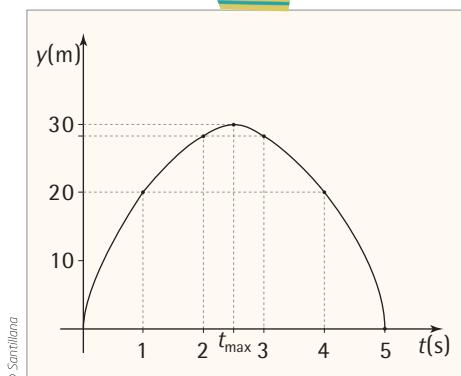


Fig.2.32. Gráfica  $y$ - $t$  para un objeto que se lanza verticalmente hacia arriba.



Siquieres saber más sobre la altura máxima, ingresa a la página *altura máxima y alcance* en [goo.gl/yEhmH](http://goo.gl/yEhmH).

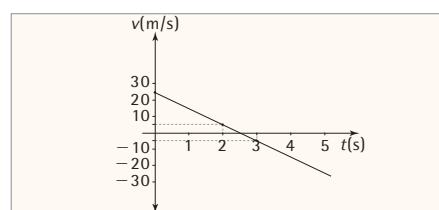


Fig.2.33. Gráfica  $v$ - $t$  para un objeto que se lanza verticalmente hacia arriba.

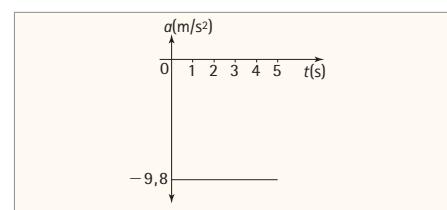


Fig.2.34. Gráfica  $a$ - $t$  para un objeto que se lanza verticalmente hacia arriba.

## Ejemplo

Una persona arroja una pelota hacia arriba con una velocidad inicial de 15 m/s. Determinar:

- Las ecuaciones de movimiento.
- El tiempo en el cual el objeto alcanza el punto más alto de la trayectoria.
- La altura máxima.
- Las gráficas x-t, v-t, a-t.

### Solución

a. Las ecuaciones de movimiento son:

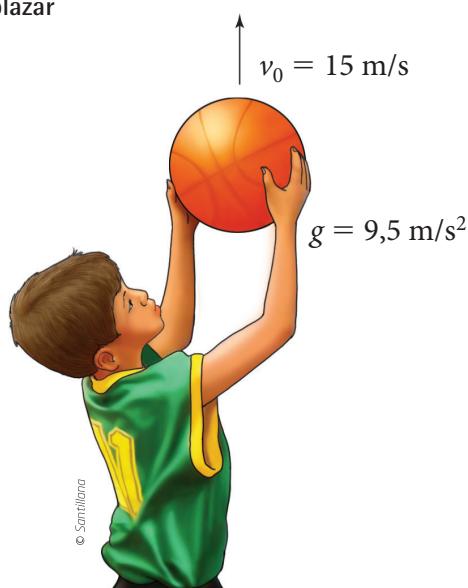
$$\text{Velocidad: } v = v_0 + gt$$

$$v = (15 \text{ m/s}) + (-9,8 \text{ m/s}^2)t$$

$$\text{Posición: } y = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$y = 15 \text{ m/s} \cdot t + \frac{1}{2} (-9,8 \text{ m/s}^2) t^2$$

### Al reemplazar



b. Cuando el cuerpo alcanza la altura máxima la velocidad es igual a cero, entonces:

$$v = 15 \text{ m/s} - (9,8 \text{ m/s}^2)t$$

como  $v = 0$ , tenemos

$$0 = 15 \text{ m/s} - (9,8 \text{ m/s}^2)t$$

Luego,

$$t = 1,5 \text{ s}$$

Al despejar t y calcular

c. Reemplazamos el valor del tiempo en:

$$y = 15 \text{ m/s} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \text{ m/s} \cdot t^2$$

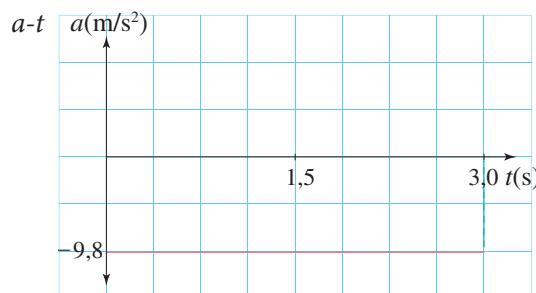
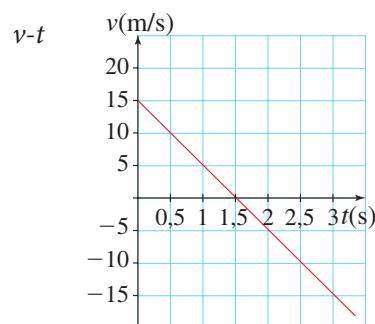
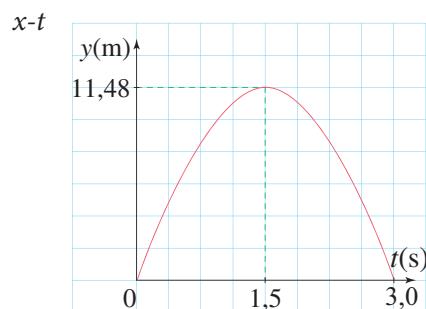
$$y = 15 \text{ m/s} \cdot 1,5 \text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 (1,5)^2$$

$$y = 11,48 \text{ m}$$

Al calcular

La altura máxima que alcanza la pelota es de 11,48 m

d. Las gráficas se muestran a continuación:



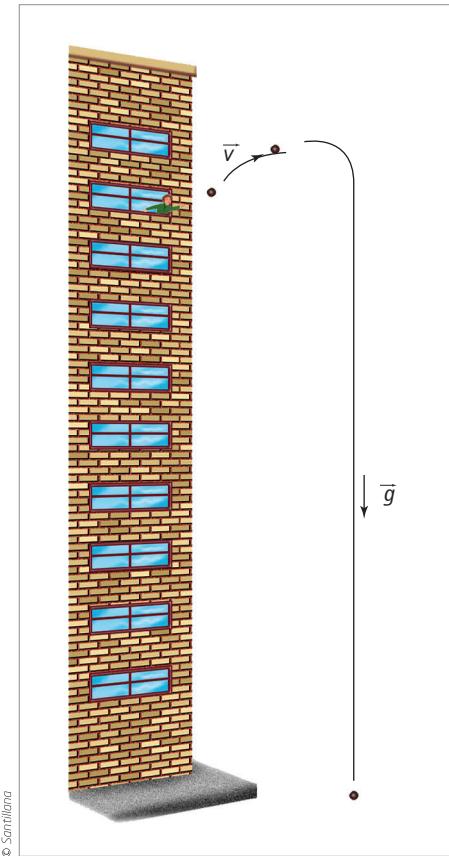
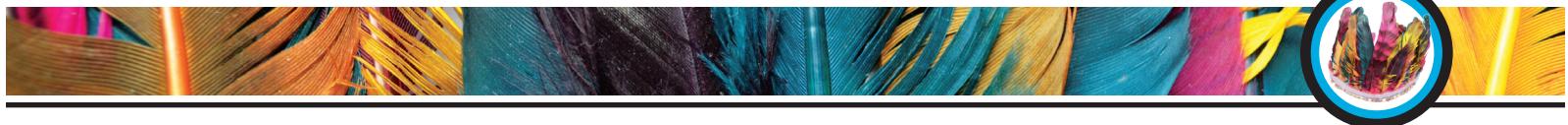


Fig.2.35. Lanzamiento vertical de una bola.



### T Tarea

- Compara el tiempo desde el punto de lanzamiento hasta el punto más alto con el tiempo en ir desde el punto más alto, hasta el punto de lanzamiento de la bola de la figura 2.35.
- Compara la velocidad en el punto de lanzamiento con la velocidad cuando pasó por dicho punto hacia abajo, de la bola de la figura 2.35.

### Ejemplo

Desde el piso 9 de un edificio (fig.2.35) se lanza una bola verticalmente hacia arriba con rapidez de 4,9 m/s (la altura de cada piso es 2,6 m y el primer piso está a 4,0 m sobre el suelo; quien la lanza lo hace a 2,0 m sobre el nivel de su piso). Determina:

- Altura, con respecto al punto de lanzamiento, a la que llega la bola.
- El tiempo que tarda la bola en volver a pasar por el punto de partida.
- La velocidad que lleva la bola al pasar por el punto de partida.
- El tiempo que tarda la bola en llegar al suelo.

#### Solución

a. En la máxima altura, la velocidad del objeto es cero, por tanto,  $v$  es 0, mientras que la velocidad inicial,  $v_0$  es 4,9 m/s. Por tanto:

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

$$0 = 4,9 \text{ m/s} + 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t, \text{ donde,}$$

$t = 0,5 \text{ s}$  tiempo que tarda en alcanzar la altura máxima.

Esta altura se halla de la expresión:

$$y = v_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2}, y = 4,9 \text{ m/s} \cdot 0,5 \text{ s} - \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (0,5 \text{ s})^2}{2} = 1,2 \text{ m}$$

La altura alcanzada con respecto al punto de lanzamiento es de 1,2 m

b. Cuando el objeto pase por el punto de partida, el valor del desplazamiento es 0, por tanto  $y = 0$ . Es decir:

$$y = v_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2}, \text{ luego } 0 = 4,9 \text{ m/s} \cdot t - \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t^2}{2}$$

así se obtienen dos soluciones,  $t = 0 \text{ s}$  y  $t = 1 \text{ s}$

Obtenemos que ha transcurrido 1 s.

c. Con la ecuación  $v = v_0 + g \cdot t$ , podemos verificar que la velocidad cuando pasa por el punto en el cual fue lanzado es de 4,9 m/s, la misma  $v_0$

d. El suelo está 29,4 m por debajo del punto de lanzamiento ( $23,4 \text{ m} + 4 \text{ m} + 2 \text{ m} = 29,4 \text{ m}$ ). Para determinar el tiempo transcurrido hasta que la bola llega al suelo, usamos la ecuación que utilizamos en la parte b y tenemos

$$-29,4 \text{ m} = 4,9 \text{ m/s} \cdot t - \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t^2}{2} \text{ por lo tanto, } t = -2 \text{ s} \text{ y } t = 3 \text{ s}$$

Descartamos la Solución negativa (¿por qué?). Luego el objeto tarda en llegar al suelo 3 s.

### Ti Trabajo individual

Resuelve el problema.

Desde una altura de 29,4 m se lanza una bola verticalmente hacia abajo con rapidez de 4,9 m/s. Determina el tiempo que emplea la bola en llegar al suelo y la velocidad de la bola inmediatamente antes de chocar contra el suelo. Empleando un plano cartesiano para representar la situación planteada, ¿dónde ubicarías el punto desde el cual es lanzada la bola? A partir de este punto, ¿el movimiento de la bola se grafica hacia arriba o hacia abajo del eje y? Explica.

# Problemas de ampliación

## Verifica conceptos de caída libre.

1. ¿Un cuerpo en caída libre tiene movimiento uniformemente variado? Explica tu respuesta.
2. ¿Qué significado tiene que la aceleración de un objeto sea negativa? Da un ejemplo.
3. Escoge los enunciados verdaderos y justifica tu respuesta.
  - a. Todos los cuerpos en el vacío caen al mismo tiempo.
  - b. La aceleración en caída libre es la misma para todos los cuerpos.
  - c. La velocidad de un objeto lanzado verticalmente hacia arriba es cero en el punto más alto.
4. ¿Qué sucede con la rapidez y la aceleración cuando un cuerpo cae?

## Determina ecuaciones de caída libre.

5. ¿Cuál es la ecuación para calcular la velocidad con que llega al suelo un objeto que se suelta desde una altura  $h$ ?

## Verifica conceptos de caída libre.

6. Escoge los enunciados verdaderos para cuando un cuerpo es lanzado verticalmente hacia arriba. Justifica tu respuesta.
  - a. El tiempo que tarda en subir es mayor que el tiempo que tarda en bajar.
  - b. La velocidad con la que se lanza es la misma que la de regreso al sitio de lanzamiento.
  - c. La aceleración de la gravedad es mayor de bajada que de subida.
  - d. La distancia recorrida es mayor cuando baja que cuando sube.

## Analiza situaciones problemas de movimiento rectilíneo.

7. ¿Qué significa que un cuerpo acelera a razón de  $3 \text{ m/s}^2$ ?

## Resuelve problemas de movimiento rectilíneo.

8. ¿Qué sucede con el valor de la velocidad en cada segundo que transcurre para un cuerpo que cae libremente?
9. Se dejan caer simultáneamente desde una misma altura dos hojas idénticas, una lisa y otra arrugada. ¿Por qué llega primero al suelo la hoja arrugada?

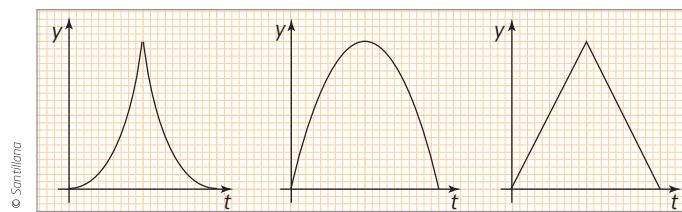
10. ¿Qué criterios se deben tener en cuenta para afirmar que una pluma y una moneda que se sueltan simultáneamente desde la misma altura, caen al tiempo?
11. ¿En un sitio donde hay vacío los objetos caen o flotan? Justifica tu respuesta.
12. Dos esferas idénticas se dejan caer al mismo tiempo desde diferentes alturas. ¿Cuál de las dos llega primero al suelo? Justifica tu respuesta.
13. Cuando se lanza un objeto verticalmente hacia arriba, ¿tiene sentido decir que su velocidad es positiva cuando sube y negativa cuando baje?
14. Un habitante de un planeta deja caer un objeto desde una altura de 64 m y observa que este tarda 4 segundos en caer al piso. ¿Cómo se podría encontrar la aceleración debida a la gravedad en el planeta?
15. Utilizando únicamente un cronómetro y una piedra, ¿cómo se podría determinar la altura de un edificio? ¿Qué limitaciones tiene esta medición?
16. La aceleración en la Luna debida a la gravedad es aproximadamente la sexta parte de la que existe en la Tierra. Estima la relación entre la altura a la que podrías lanzar una pelota en la Luna y la correspondiente altura aquí en la Tierra si se lanzan con igual velocidad.
17. ¿Qué significado tiene que la aceleración de la gravedad se considere negativa?
18. Averigua el tiempo de reacción de tu mano para coger un billete, como se observa en la figura. Explica por qué es tan difícil coger el billete.



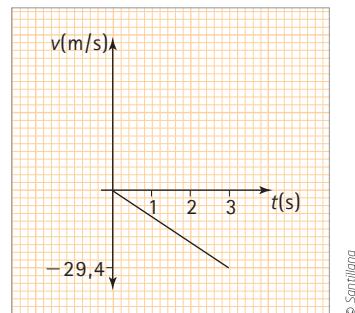


Analiza y diseña gráficas de movimiento.

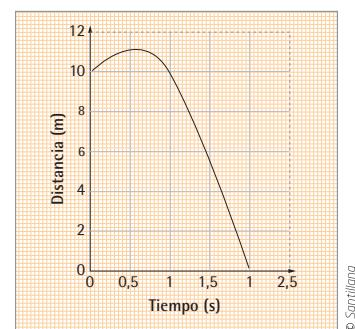
19. Observa las gráficas, escoge la que representa la distancia, , al punto de lanzamiento en función del tiempo, para un objeto que se mueve verticalmente hacia arriba con velocidad inicial y regresa al punto de partida. Luego, escribe un ejemplo.



20. En la figura se muestra la gráfica v-t de un objeto que se suelta desde cierta altura y tarda 3 segundos en caer. ¿Desde qué altura se soltó el objeto?



21. La gráfica corresponde a la distancia de un objeto que se lanza verticalmente hacia arriba desde cierta altura, con respecto al suelo, con velocidad de 4,9 m/s.



- ¿Desde qué altura se lanzó?
- ¿Cuánto tiempo duró subiendo?
- ¿En qué tiempo llega al suelo?
- ¿Cuál es la rapidez en el punto más alto de la trayectoria?
- ¿Cuál es la altura a 1,5 segundos?

## L Lección

Analiza y diseña gráficas de movimiento rectilíneo y caída libre.

1. La gráfica representa la distancia de un objeto que se lanza hacia arriba desde el suelo.

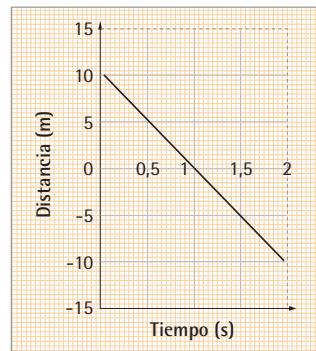
a. ¿Con qué velocidad se lanzó el objeto?

b. ¿En cuánto tiempo alcanzó el punto más alto?

c. ¿Cuánto tiempo tardó en regresar al suelo?

d. ¿Cuál fue la altura alcanzada?

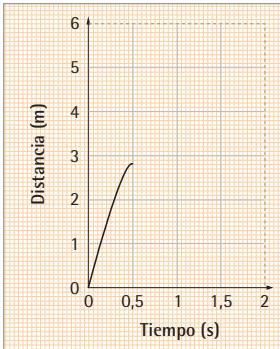
e. ¿Cuál fue el desplazamiento total?



2. En la figura se muestra la gráfica posición-tiempo para un objeto que desde el suelo se lanza verticalmente hacia arriba con velocidad de 9,8 m/s.

a. Completa la gráfica.

b. ¿En qué instante llega al suelo?



3. En la Luna, la aceleración de la gravedad es  $1,6 \text{ m/s}^2$ . Construye la gráfica  $x-t$  para un objeto que se lance verticalmente hacia arriba con velocidad de 8 m/s en la Luna. En el mismo plano, construye la gráfica  $x-t$  si el lanzamiento se hace en la Tierra.

## I Investiga

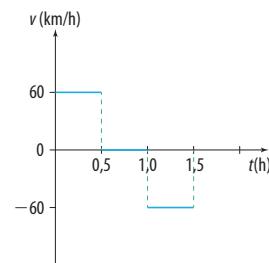
- ¿Es posible que un cuerpo esté en reposo y su aceleración sea diferente de cero, aunque sea un instante? Explica.
- ¿Por qué si todos los cuerpos caen con la misma aceleración, al dejar caer desde la misma altura un libro y un papel, llega antes al suelo uno de ellos?

## Problemas de ampliación



Analiza y resuelve problemas de movimiento rectilíneo.

1. Una piedra se deja caer desde una altura de 20 m. ¿Cuánto tiempo tarda en llegar al suelo?
2. Una piedra se deja caer y tarda cinco segundos en llegar al suelo, ¿desde qué altura se soltó?
3. Una piedra se lanza verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de 5 m/s. ¿Qué altura alcanza la piedra? ¿Cuánto tiempo tarda en llegar al punto más alto?
4. Una piedra se deja caer sobre un pozo con agua y a los 2 segundos se escucha el impacto de la piedra sobre el agua. ¿Cuál es la profundidad del pozo?
5. Se deja caer una pelota de caucho desde una altura de 30 m. Si al rebotar alcanza una rapidez igual al 20% de la rapidez con la que llegó al suelo, entonces, ¿qué altura alcanza en el rebote?
6. El techo de un salón está a 3,75 m del piso. Un estudiante lanza una pelota verticalmente hacia arriba, a 50 cm del piso. ¿Con qué velocidad debe lanzar el estudiante la pelota para que no toque el techo?
7. Una piedra se deja caer desde una altura de 80 m y 2 segundos más tarde, desde igual altura, se lanza hacia abajo otra que alcanza la primera justo antes de tocar contra el suelo. ¿Con qué velocidad se lanzó la segunda piedra?
8. Una pelota se lanza verticalmente hacia arriba con una velocidad de 30 m/s, al cabo de 2 segundos, ¿cuál es la velocidad de la pelota?, ¿qué altura alcanza en ese momento?, ¿al cabo de cuánto tiempo se detiene la pelota para empezar a caer?
9. Si se lanza la pelota del ejercicio anterior en la Luna, ¿cuál es la diferencia de altura alcanzadas con relación a la Tierra? (Recuerda que en la Luna  $g = 1,67 \text{ m/s}^2$ .)
10. ¿Qué valor de aceleración debe tener un automóvil que parte del reposo en un camino recto, para que en el mismo tiempo su rapidez sea igual a la que tendría un objeto que se deja caer desde una altura de 20 m justo antes de tocar el suelo?
11. Un niño lanza una piedra verticalmente hacia arriba, 0,6 segundos después la recibe nuevamente. ¿Qué altura alcanzó la piedra? ¿Con qué velocidad lanzó el niño la piedra?
12. Una persona que se encuentra en lo alto de un edificio lanza una pelota verticalmente hacia abajo con una velocidad de 30 m/s. Si la pelota llega a la base del edificio a los 12 segundos, ¿cuál es la altura del edificio?
13. Un helicóptero se eleva con velocidad constante de 5 m/s. Una vez en el aire, se deja caer una pelota que tarda 10 segundos en llegar al suelo. ¿A qué altura se encontraba el helicóptero?
14. Una persona lanza una pelota verticalmente hacia arriba con una velocidad de 24 m/s y a los dos segundos lanza otra con la misma velocidad, ¿a qué altura se encuentran las dos pelotas?
15. De un ascensor que se mueve hacia arriba con rapidez constante de 6 m/s, se deja caer una moneda que está a una altura de 1,15 m con respecto al piso del ascensor, ¿cuánto tiempo tarda la moneda en llegar al piso del ascensor?
16. Con los datos del problema anterior, considera que el ascensor se mueve con aceleración uniforme de  $3,5 \text{ m/s}^2$  hacia arriba al momento de soltar la moneda, ¿cuánto tiempo tarda la moneda en llegar al piso del ascensor?
17. Piensa que estás de pie sobre una plataforma de observación a 100 m sobre el nivel de la calle, y dejas caer una piedra. Un amigo tuyo que está directamente debajo en la calle, lanza una piedra hacia arriba con una velocidad de 50 m/s, en el mismo instante en que tú soltaste la piedra. ¿A qué altura se chocan las dos piedras? ¿Al cabo de cuánto tiempo?
18. La gráfica de  $v$ - $t$  corresponde al movimiento de un automóvil que se desplaza por una carretera recta. Responde las siguientes preguntas y justifica tus respuestas.



- a. ¿En qué intervalo o intervalos de tiempo está el automóvil detenido?
- b. ¿Cuál es la distancia total recorrida por el auto?
- c. ¿En qué intervalo de tiempo está el automóvil regresándose y cuántos metros regresa?
- d. En el intervalo de tiempo de  $t = 0,5 \text{ h}$  a  $t = 1 \text{ h}$ , ¿se encuentra el auto a una distancia de 60 km de su posición inicial?

# Evaluación

- Diferencia distancia y desplazamiento, rapidez y velocidad.

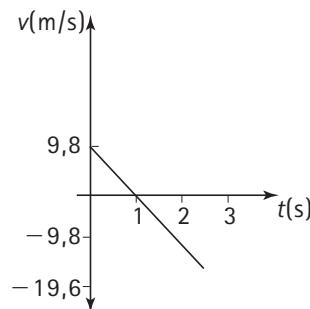
**1 punto**

1. ¿Por qué es importante para analizar el movimiento de un cuerpo, definir primero un sistema de referencia?
2. ¿Puede un cuerpo moverse y tener una velocidad igual a 0 m/s? Da un ejemplo.

- Analiza gráficos de movimiento rectilíneo.

**2 puntos**

3. La gráfica representa la velocidad de un cuerpo que se lanza verticalmente hacia arriba con una determinada velocidad inicial, desde una altura de 29,4 m con respecto al suelo.

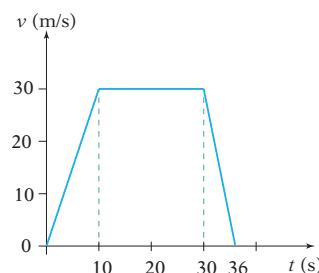


- ¿Con qué velocidad fue lanzado el cuerpo?
- ¿En cuánto tiempo alcanzó su altura máxima con respecto al suelo?
- ¿Cuál es su altura máxima con respecto al suelo?
- ¿Cuánto tiempo después de iniciar el descenso su rapidez es nuevamente 9,8 m/s? Justifica tu respuesta.
- ¿Con qué velocidad el cuerpo toca el suelo?

- Analiza y diseña gráficas de movimiento, incluyendo el uso de pendientes y áreas..

**2 puntos**

4. La gráfica de velocidad-tiempo corresponde al movimiento de un automóvil que viaja por un camino recto.

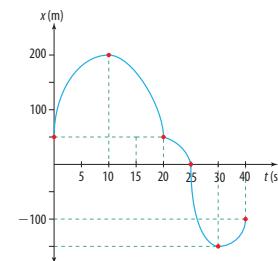


- ¿Cuál es la distancia total recorrida por el automóvil?
- Construye la gráfica de aceleración-tiempo para el movimiento.

- Indicador esencial de evaluación

**2 puntos**

5. La gráfica de posición-tiempo corresponde a un cuerpo que se desplaza en una trayectoria rectilínea.



- ¿En algún intervalo de tiempo el cuerpo está quieto? Explica.
- ¿Cuál es la distancia total recorrida?
- ¿En qué intervalos la velocidad es negativa?
- ¿En qué intervalos la velocidad es cero?
- ¿Cuál es la velocidad media entre 0 y 40 segundos?

- Detecta la existencia de aceleración en un movimiento y resuelve ejercicios relacionados, aplicando las ecuaciones respectivas..

**2 puntos**

6. Una moneda es lanzada verticalmente hacia arriba. Determina cuál de las siguientes afirmaciones es correcta.

- La velocidad en el punto más alto de la trayectoria es diferente de cero.
- La aceleración que experimenta es mayor de subida que de bajada.
- La velocidad inicial con la que se lanza es la máxima durante el movimiento de subida.
- El tiempo de subida es mayor que el de bajada.

## Autoevaluación (Metacognición)

Indica con un ejemplo la diferencia entre movimiento rectilíneo uniforme y movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

## Coevaluación

Lean la información, analicen en parejas cada situación y respondan las preguntas. Finalmente, intercambien sus trabajos con sus compañeros y verifiquen las respuestas.

Sea  $m$  la masa de una piedra ligera y  $M$  la masa de otra piedra más pesada. Según Aristóteles, la piedra de masa  $M$  debe caer primero al piso que la piedra  $m$  por ser más pesada.

Galileo propuso la siguiente experiencia; se amarran las piedras  $m$  y  $M$  con una cuerda y se dejan caer.

Si el razonamiento de Aristóteles es correcto, entonces las dos piedras se convierten en una sola, cuya masa es  $m + M$ , que debe caer más rápido que la sola piedra  $M$ . Pero Galileo dijo que la piedra de masa  $m$  retardaría el movimiento de la otra piedra lo que haría que  $m + M$  cayera más lentamente que la sola piedra  $M$ , lo cual entraría en contradicción con la respuesta de Aristóteles.

¿Cuál de los dos razonamientos encuentran más lógico?

**Cultura física y tiempo libre**

El deporte, la educación física y la recreación son actividades que contribuyen a la salud, formación y desarrollo integral de las personas. Es importante utilizar el tiempo libre de la forma más sana con actividades para el esparcimiento, descanso y desarrollo de la personalidad.

## Deportes extremos: desafiando a la gravedad

Llegar más alto, volar o alcanzar distancias que no le permiten sus limitaciones anatómicas, siempre ha sido un ideal del ser humano. Para lograrlo, ha observado y estudiado la naturaleza: las alas de las aves y de los insectos voladores para entender la física y las condiciones del vuelo, y las estructuras especializadas en soportar tensión como la tela de las arañas. Estos conocimientos y el desarrollo de nuevos materiales, lo han llevado a «volar» por distintos métodos y a alcanzar las cumbres más altas de la Tierra como el Himalaya.



© Santillana

Observar y analizar el vuelo de los animales ha ayudado al ser humano a inventar máquinas que le han permitido a él mismo volar.

### Escalada en roca: pendiendo de un hilo

En la escalada en roca una caída es un evento común. Las cuerdas para este deporte están diseñadas para soportar tensiones o cargas dinámicas resultantes de detener una caída: son resistentes a impactos para no romperse y elásticas para estirarse y desacelerar lentamente sin causar lesiones. Cuando un escalador asciende, el trabajo que realiza contra la gravedad es almacenado en forma de energía. Al caer, el cuerpo aumenta y la cuerda almacena la energía en forma de una deformación elástica (se estira), al

rebotar el cuerpo disminuye y al detenerse se convierte en una carga estática: su peso. La energía además se pierde en forma del calor producido por el roce de la cuerda con los mosquetones y con el mecanismo de seguridad de quien lo sostiene, y por la elongación de la cuerda entre este y el escalador. Otras condiciones como el tipo de nudo y el movimiento del cuerpo del escalador dentro del arnés también ayudan a reducir las cargas dinámicas.

Sobre pasando un límite elástico, las cuerdas sufren una deformación plástica, no recobran su forma original, y

pueden llegar a romperse. La carga límite que soporta una cuerda depende de las propiedades de los materiales de los que esté hecha. Las primeras fueron de fibras naturales similares al algodón; actualmente, son de fibras sintéticas como el nailon, el poliéster o el polipropileno, que son más resistentes y elásticas. Muchas de las investigaciones que se realizan en la actualidad sobre los materiales para hacer cuerdas, buscan producir sintéticamente el material de muchas fibras naturales, como las de las telas de araña, dado a su elasticidad y resistencia a impactos.



© Santillana

Las cuerdas de escalar, los seguros que se clavan en la roca y los mosquetones para asegurarse a medida que se asciende, están diseñados para absorber la caída que se genera durante una caída.



## La caída libre y el paracaidismo

El paracaidismo es una actividad ideal para conocer algunas leyes de la física. Cuando los paracaidistas saltan desde los aviones, de inmediato experimentan la fuerza de gravedad, luego, cuando abren el paracaídas, se sienten aliviados al notar cómo su velocidad disminuye gracias a la fuerza o resistencia aerodinámica. Esta se genera por fricción entre el paracaidista y el aire, depende de la velocidad, del área y del peso del paracaidista y actúa en sentido opuesto a su desplazamiento, lo que hace que este desacelere. Apenas un paracaidista salta, la gravedad es superior a la fuerza aerodinámica y éste se acelera y aumenta su velocidad. A medida que la velocidad aumenta, también lo hace la fuerza aerodinámica hasta que se equilibra con la gravedad y el paracaidista alcanza una velocidad constante cercana a los 200 km/h. Finalmente, cuando abre su paracaídas, este genera un aumento enorme de la fuerza aerodinámica y su velocidad disminuye hasta cerca de 20 km/h, suficiente como para no lesionarse al caer. Los paracaídas antiguos eran redondos y producían caídas casi verticales, los modernos son semejantes a las alas de los aeroplanos y dan a los paracaidistas grandes posibilidades de desplazamiento horizontal.

En una modalidad de paracaidismo, la caída libre en formación, varias personas saltan desde aviones volando hasta a 6 600 metros de altura. Los primeros paracaidistas se unen para formar el núcleo o base de la figura, y el resto del equipo dispone de minuto y medio para terminarla antes de entrar en la zona de seguridad donde toca soltarse para no correr riesgos. Los últimos tienen que recorrer más de kilómetro y medio para alcanzar al resto. Para lograrlo, cambian la posición del cuerpo: una postura horizontal ofrece mayor resistencia al viento y permite pasar de 200 a 160 km/h; por el contrario, en una pose vertical, la velocidad llega hasta 290 km/h. Las trayectorias de los paracaidistas no se pueden encontrar pues se produciría un efecto paraguas en relación con el aire; esto desequilibraría al saltador situado a más altura, lo que ocasionaría graves riesgos de colisión debido a que la dificultad y peligro crecen de manera geométrica con el número de paracaidistas. Actualmente, el récord mundial lo ostentan 300 personas que se unieron en un abrazo vertiginoso a más de 2 300 metros de altura y 200 kilómetros por hora.

(Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias Naturales, Weblesson de Física, [elverantonio.blogspot.com](http://elverantonio.blogspot.com)).



En el paracaidismo de caída libre en formación se salta desde grandes alturas y se alcanzan velocidades en las que es necesario usar pequeños tanques de oxígeno.

### I Investiga

- Consulta en un libro o revista especializada cuál es el principio por el cual los aviones, los planeadores o las alas delta permanecen en vuelo. ¿Este mismo principio se puede aplicar a otras máquinas voladoras como los helicópteros o las naves espaciales, o a animales como las aves?
- Averigua acerca del desarrollo de los globos aerostáticos. ¿Utilizan el mismo principio de sustentación que los aviones? Pregunta a tu profesor o profesora acerca del principio de Arquímedes y cómo se relaciona con estos.



¿Existe otro tipo de deportes en los que se intenta volar y desafiar las leyes de la gravedad, como las alas delta, las cometas, el parapente y el vuelo en aeroplanos?

Bloque  
**3**

## Movimientos de los cuerpos en dos dimensiones





Analizando el movimiento rectilíneo descubrimos la necesidad de describir la posición de un objeto, así como su cambio de posición o desplazamiento. También es necesario determinar el cambio de posición con respecto al tiempo, es decir, la velocidad y el cambio de esta con respecto al tiempo o aceleración.

Para estudiar el movimiento de los objetos en el plano, se requiere de segmentos orientados, llamados *vectores*, que nos ayudan a especificar las magnitudes como son la posición, velocidad y aceleración.

Como aplicación del movimiento en el plano, se encuentra el movimiento de proyectiles, donde se utiliza los conceptos del movimiento rectilíneo, ya que, el movimiento de proyectiles resulta de la conjugación de dos movimientos rectilíneos, uno uniforme y el otro uniformemente variado.



#### Observa y analiza las imágenes.

- ¿Cómo podemos describir la trayectoria que siguen los planetas?
- ¿Qué trayectoria sigue el agua que emite una fuente?
- ¿Cómo podemos aplicar las leyes de la física para explicar el movimiento de proyectiles?

#### Objetivo educativo

Establecer las características del movimiento compuesto y su importancia, de manera que se puedan determinar las aplicaciones útiles y beneficiosas de estos principios para la humanidad.

Collar de semillas de huairuro.  
Artesanía de los pueblos indígenas de la Amazonía.



# Movimientos de trayectoria bidimensional

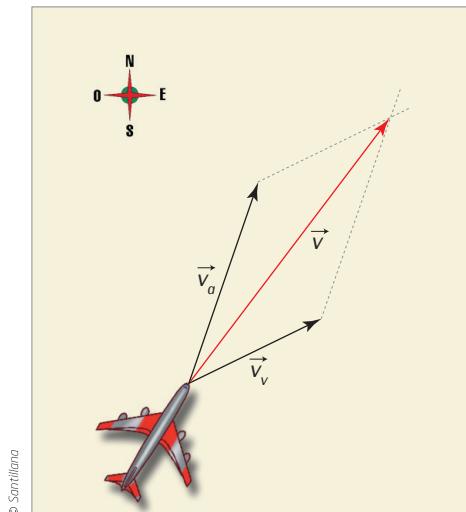
## Destreza con criterio de desempeño:

Describir la utilidad de los vectores en la representación de movimientos en dos dimensiones, a partir de la conceptualización de dos movimientos simultáneos.

## Conocimientos previos

Un avión se dirige hacia el noreste con velocidad  $\vec{v}_a$  tal como se ilustra en la figura 3.1 y se ve influenciado por el viento que se mueve a velocidad  $\vec{v}_b$  en la dirección noreste. ¿Cómo podemos determinar en qué dirección se mueve el avión con respecto a la Tierra?

¿Crees que la velocidad con la que se mueve el avión con respecto a la Tierra se obtiene al sumar  $\vec{v}_a$  y  $\vec{v}_b$  por medio de la construcción del paralelogramo?



© Santillana

Fig. 3.1. El avión tiene velocidad  $v_a$  y el viento, velocidad  $v_b$ . El avión se mueve con respecto a la Tierra con velocidad  $v$ .

## COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTOS

En la naturaleza es posible observar que los cuerpos se mueven por acción de dos movimientos, tal es el caso de una barca avanzando río abajo, o río arriba, o atravesando un río. Cuando el movimiento de un móvil es el resultado de dos o más movimientos simultáneos, se dice que está sujeto a una composición de movimientos.

El estudio de este fenómeno se fundamenta en el **principio de independencia**, enunciado por Galileo en los siguientes términos:

*Si un móvil está sometido a dos movimientos, su cambio de posición es independiente de si la ocurrencia de los movimientos se produce de forma sucesiva o de forma simultánea.*

## MOVIMIENTOS UNIFORMES DEL MISMO SENTIDO

Para la barca arrastrada por la corriente de agua del río (fig. 3.2a), se cumple la igualdad:

$$v = v_i + v_{ii}$$

Por ejemplo, si la velocidad que desarrolla el motor de la barca es de 10 m/s y la de la corriente es de 1 m/s, la velocidad de la barca con respecto a la orilla será  $10 \text{ m/s} + 1 \text{ m/s} = 11 \text{ m/s}$ .

## MOVIMIENTOS UNIFORMES DE SENTIDO CONTRARIO

En el caso de la barca que se mueve por el río corriente arriba (fig. 3.2b), se cumple la igualdad:

$$v = v_i - v_{ii}$$

Si la velocidad que desarrolla el motor de la barca es de 10 m/s y la de la corriente es de 1 m/s, la barca avanzaría río arriba con una velocidad de  $10 \text{ m/s} - 1 \text{ m/s} = 9 \text{ m/s}$ , respecto al observador de la orilla.

## Trabajo individual

Imagina que un avión realiza un vuelo de Quito a Guayaquil con el viento a su favor y que regresa de Guayaquil a Quito con el viento soplando con la misma rapidez que antes, pero ahora en contra. En el trayecto de ida y regreso, ¿emplearía el mismo tiempo si ese trayecto se hubiera realizado sin viento? Para argumentar tu respuesta puedes tomar 217 km como distancia Quito-Guayaquil en línea recta; 900 km/h, la velocidad del avión y 100 km/h la velocidad del viento.

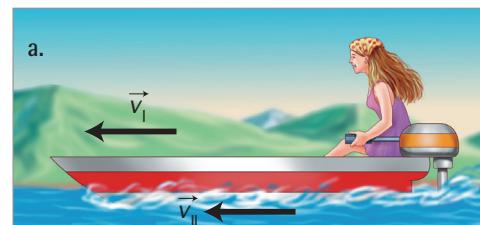
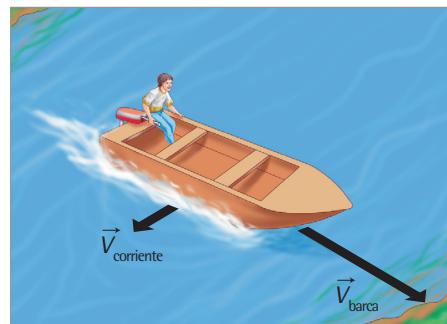


Fig. 3.2a. Composición de movimientos en la misma dirección.



3.2b. Composición de movimientos en direcciones opuestas.

© Santillana



© Santillana

Fig. 3.3. La barca se mueve por el impulso del motor y por la corriente del río.

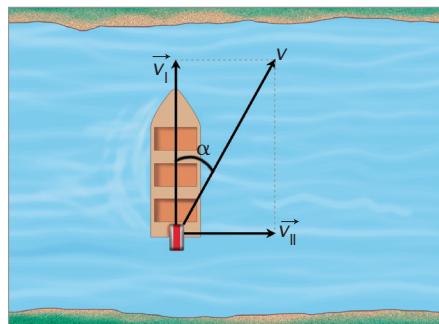


Fig. 3.4. Composición de movimientos perpendiculares.

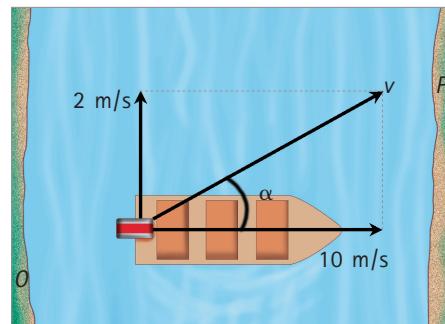
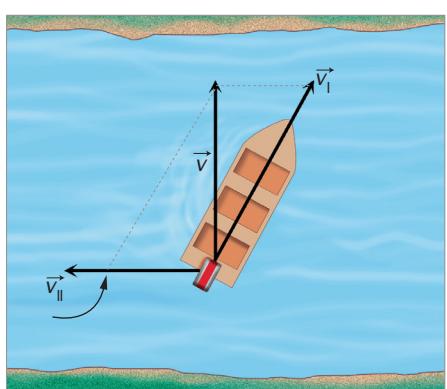


Fig. 3.5. La velocidad resultante,  $v$ , es la suma de  $v_i + v_{ii}$ .



© Santillana

Fig. 3.6. Composición de movimientos en diferente dirección.

## COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTOS PERPENDICULARES

Cuando de la barca atraviesa el cauce de un río, el movimiento de la misma se ve influenciado por la dirección y sentido tanto de la velocidad de la barca como de la velocidad del agua (fig. 3.3). La barca, impulsada por el motor, se mueve hacia adelante y simultáneamente, por efecto de la corriente, se mueve lateralmente. La composición de los dos movimientos considerados por separado, el de la barca y el de la corriente, da lugar al movimiento que se observa en la figura 3.4.

La velocidad,  $v$ , que resulta de la composición de los dos movimientos se expresa como:

$$\vec{v} = \vec{v}_i + \vec{v}_{ii}$$

Siendo  $v_i$  y  $v_{ii}$  las velocidades respectivas de los movimientos que se componen (fig. 3.4).

### Ejemplo

Una barca se mueve perpendicularmente a la corriente de agua de un río. Sabiendo que la velocidad que desarrolla su motor es 36 km/h y que la velocidad del agua es de 2 m/s, determina la velocidad (módulo y dirección) con que la barca se mueve con respecto a la orilla.

#### Solución

Expresemos la velocidad de 36 km/h en m/s:

$$36 \cdot 1.000 \text{ m} = 3.600 \text{ s} \Rightarrow 36 \text{ km/h} = \frac{3.600 \text{ m}}{3.600 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$$

a. La barca intenta cruzar el río en sentido perpendicular a la corriente.

Por tanto:

$$v = \sqrt{10 \text{ m/s}}^2 + (2 \text{ m/s})^2 = 10,2 \text{ m/s}$$

Puesto que en un triángulo rectángulo se define la relación trigonométrica tangente como:

$$\tan \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

$$\text{tenemos que } \tan \alpha = \frac{v_{ii}}{v_i} = \frac{2}{10} \Rightarrow \alpha = 11^\circ$$

La barca se desplaza respecto a la orilla con una velocidad de 10,2 m/s, en la dirección  $OP$  (fig. 3.5).

### Tc Trabajo cooperativo

Junto con un compañero resuelvan el problema. Un avión con el aire en reposo se mueve a una velocidad de 400 km/h en la dirección oeste, cuando empieza a correr un viento a velocidad de 100 km/h en la dirección norte. Determina la velocidad (módulo y dirección) con que el avión se mueve con respecto a la Tierra.

# Ecuaciones del movimiento bidimensional

## Destrezas con criterio de desempeño:

- Describir la utilidad de los vectores en la representación de movimientos en dos dimensiones, a partir de la conceptualización de dos movimientos simultáneos.
- Identificar las magnitudes cinemáticas presentes en un movimiento compuesto, tanto en la dirección horizontal como en la vertical, a partir de la independencia de movimientos simultáneos.

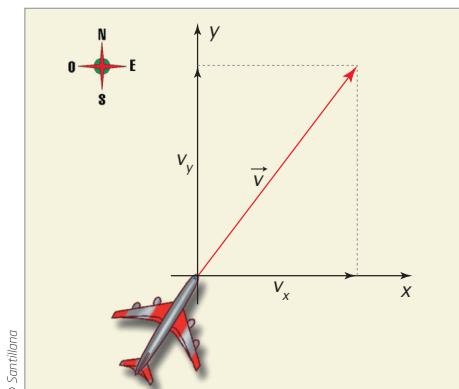


Fig. 3.7. Componentes de un vector.

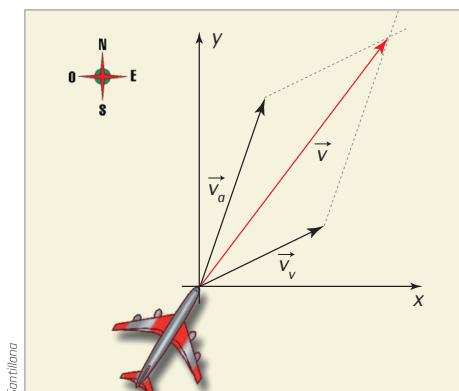


Fig. 3.8. El avión tiene velocidad  $\vec{v}_a$  y el viento velocidad  $\vec{v}_v$ .

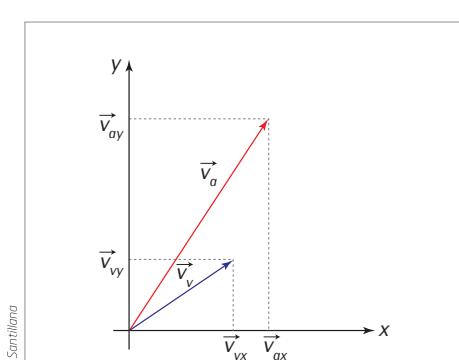


Fig. 3.9. Cada uno de los vectores  $\vec{v}_a$  y  $\vec{v}_v$  tiene componentes en el eje x y en el eje y.

En la figura 3.6 se ilustra la situación de la barca nuevamente sometida a dos efectos. En primer lugar se mueve en relación con el agua y en segundo lugar el agua se mueve en relación con la orilla. La barca avanza debido a su motor, con el agua quieta a una velocidad,  $v_I$ , de 10 m/s y el agua corre a una velocidad,  $v_{II}$ , de 4 m/s en la dirección señalada. Por medio de la suma de vectores combinamos estos dos efectos. La velocidad resultante con respecto a la orilla está determinada por el módulo y la dirección del vector,  $\vec{v}$ , dado por la suma vectorial.

$$\vec{v} = \vec{v}_I + \vec{v}_{II}$$

## COMPONENTES DE UN VECTOR

Un avión se mueve en la dirección mostrada en la figura 3.7. Al analizar la velocidad  $\vec{v}$ , podemos afirmar que esta es el resultado de la composición de dos movimientos, uno en la dirección del eje  $x$  y otra en la dirección del eje  $y$ . En este caso analizamos la velocidad como el resultado de dos componentes rectangulares, una en cada eje. A la componente sobre el eje  $x$  la llamamos  $v_x$ , y a la componente sobre el eje  $y$ ,  $v_y$ . De esta manera es posible expresar el vector  $v$  como:

$$\vec{v} = (v_x, v_y)$$

Por otra parte, el módulo del vector  $\vec{v}$  se relaciona con las componentes como

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

En un triángulo rectángulo tenemos que las relaciones trigonométricas se definen como:

$$\sin \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

Por tanto, tenemos que las componentes del vector  $v$  se relacionan con el módulo de  $v$  y con el ángulo  $\alpha$  mediante:

$$v_x = v \cdot \cos \alpha \quad v_y = v \cdot \sin \alpha$$

## SUMA DE VECTORES (MÉTODO ANALÍTICO)

### PASO 1: DESCOMONER LOS VECTORES

En la figura 3.7 sumamos gráficamente la velocidad del avión y la velocidad del viento con el fin de determinar la velocidad del avión con respecto a la Tierra. Para analizar esta situación a partir de las componentes de los vectores velocidad mostrados en la figura 3.8, tomamos como referencia el plano cartesiano  $x - y$ . En la figura 3.9, se puede ver que la velocidad del avión  $v$  tiene dos componentes, una sobre el eje  $x$ , a la que llamamos  $v_{ax}$ , y otra sobre el eje  $y$ , a la que llamamos  $v_{ay}$ .

Por tanto, el vector velocidad del avión es:

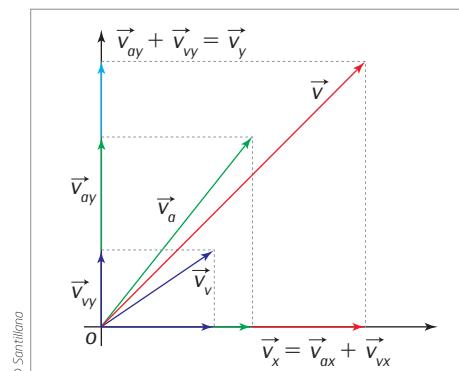
$$\vec{v}_a = (v_{ax}, v_{ay})$$

De la misma manera, la velocidad del viento  $v_v$ , tiene dos componentes  $v_{vx}$  y  $v_{vy}$ . El vector velocidad del viento es:

$$\vec{v}_v = (v_{vx}, v_{vy})$$

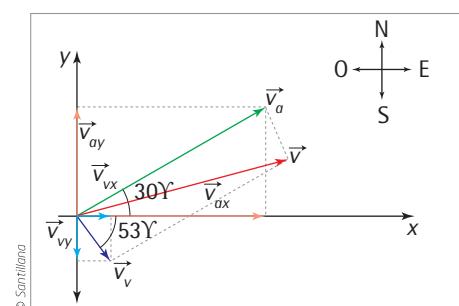


## PASO 2: SUMA DE LAS COMPONENTES



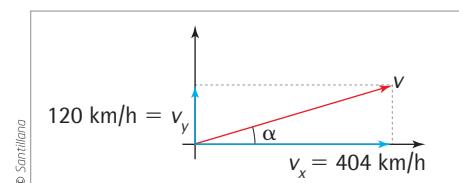
© Santillana

Fig. 3.10. El vector  $v$  es la suma de los vectores  $\vec{v}_a$  y  $\vec{v}_v$ .



© Santillana

Fig. 3.11. Suma de las velocidades del avión y el viento.



© Santillana

Fig. 3.12. Vector velocidad del avión con respecto a la Tierra.

En la figura 3.10 se muestra el vector velocidad,  $v$ , del avión con respecto a la Tierra, el cual tiene dos componentes, una sobre el eje  $x$ ,  $v_x$ , y otra sobre el eje  $y$ ,  $v_y$ . El vector velocidad del avión con respecto a la Tierra es:

$$\vec{v} = (v_x, v_y) \text{ donde } v_x = v_{ax} + v_{vx} \text{ y } v_y = v_{ay} + v_{vy}$$

Estas son las componentes del vector suma,  $\vec{v}_a + \vec{v}_v$ , lo cual se resuelve así:

Al sumar dos vectores, la componente en el eje  $x$  del vector suma es igual a la suma de las componentes de los vectores en el eje  $x$ ; y la componente en  $y$  del vector suma es igual a la suma de las componentes en el eje  $y$  de los vectores.

### Ejemplo

Un avión se mueve de tal manera que, con el aire en reposo, su velocidad es de 400 km/h, en la dirección 30° noreste. Si el viento corre a 100 km/h en la dirección 53° sureste, determina:

- Las componentes del vector velocidad del avión en las direcciones norte-sur y este-oeste.
- Las componentes del vector velocidad del viento en las direcciones norte-sur y este-oeste.
- La suma de los vectores velocidad para calcular la velocidad del avión con respecto a la Tierra.
- El módulo y la dirección de la velocidad del avión con respecto a la Tierra.

### Solución

a. Las componentes del vector  $v_a$  (fig. 3.11) son:

$$v_{ax} = v_a \cdot \cos 30^\circ; v_{ax} = 400 \text{ km/h} \cdot 0,86 = 344 \text{ km/s}$$

$$v_{ay} = v_a \cdot \operatorname{sen} 30^\circ; v_{ay} = 400 \text{ km/h} \cdot 0,5 = 200 \text{ km/h}$$

Así,  $\vec{v}_a = (344, 200)$ , con sus componentes medidas en km/h

b. Las componentes del vector  $v_v$  (fig. 3.11) son:

$$v_{vx} = v_v \cdot \cos 53^\circ; v_{vx} = 100 \text{ km/h} \cdot 0,6 = 60 \text{ km/h}$$

$$v_{vy} = -v_v \cdot \operatorname{sen} 53^\circ; v_{vy} = -100 \text{ km/h} \cdot 0,8 = -80 \text{ km/h}$$

Observa que a la componente en  $y$  de la velocidad le asignamos signo menos, ¿por qué?

Así,  $\vec{v}_v = (60, -80)$ , medida en km/h

c. La suma de los vectores  $\vec{v}_a$  y  $\vec{v}_v$ ,  $\vec{v}_a + \vec{v}_v$ , está dada por:

$$\vec{v}_a = (344, 200)$$

$$\vec{v}_v = (60, -80)$$

$$\vec{v} = (404, 120), \text{ con sus componentes medidas en km/h}$$

Este es el vector velocidad del avión con respecto a la Tierra (fig. 3.12).

d. El módulo del vector se obtiene al aplicar el teorema de Pitágoras.

$$v = \sqrt{404 \text{ km/h}^2 + (120 \text{ km/h})^2} = 421,4 \text{ km/h}$$

La dirección determinada por el ángulo  $\alpha$  es tal que

$$\tan \alpha = \frac{120}{404} = 0,297, \text{ por tanto, } \alpha = 16,5^\circ$$

El avión se mueve con respecto a la Tierra a 421,4 km/h en dirección 16,5° noreste.

### Tarea

Un avión se mueve con velocidad de 600 km/h en la dirección oeste, mientras el viento corre a 150 km/h en la dirección 45° noreste. Determina:

Las componentes del vector velocidad del avión y las del vector velocidad del viento en las direcciones norte-sur y este-oeste.

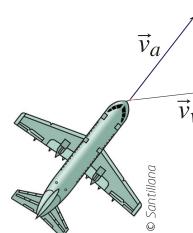
# Problemas de ampliación

Establece desplazamiento, distancia, velocidad, rapidez y aceleración en movimiento bidimensional.

1. ¿Por qué se caracterizan las magnitudes vectoriales? Explica con un ejemplo.
2. ¿Qué establece el principio de independencia en un objeto? Justifica tu respuesta.

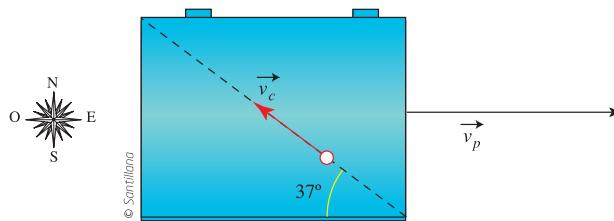
Analiza y explica situaciones en las que intervienen vectores.

3. Cuando no corre viento, un avión se mueve con velocidad  $\vec{v}_a$  como muestra la figura. Si corre viento con velocidad  $\vec{v}_v$ , el movimiento del avión cambia de dirección. Determina gráficamente la dirección del avión con respecto a la Tierra cuando hay viento con velocidad  $\vec{v}_v$ .



4. Carlos se mueve en línea recta de esquina a esquina de una plataforma en movimiento con velocidad constante de 2 m/s. La velocidad con que se mueve la plataforma es de 5 m/s hacia el este. En la gráfica se representa la situación. Determina:

- Las componentes del vector velocidad de la plataforma.
- Las componentes del vector velocidad de Carlos con respecto a la plataforma.
- La suma de los vectores velocidad de la plataforma y velocidad de Carlos con respecto a la plataforma.
- El módulo y la dirección de la velocidad de Carlos con respecto a la vía.



5. Si la velocidad de una barca es  $\vec{v}_b = 10 \text{ m/s}$  y va en dirección contraria a un río que lleva una velocidad  $\vec{v}_r = 2 \text{ m/s}$ , ¿cuál es la velocidad real de la barca con respecto a la orilla?

Analiza y resuelve problemas relacionados con magnitudes vectoriales.

6. Un estudiante de física afirma que «la lluvia es una magnitud física de carácter vectorial porque tiene dirección». Argumenta si esta afirmación es correcta.
7. ¿En qué dirección debe ir un nadador en un río para que a pesar de la corriente llegue justo en línea recta a la otra orilla?
8. Para tres vectores arbitrarios  $\vec{a}_1$ ,  $\vec{a}_2$  y  $\vec{a}_3$ , demuestra gráficamente que la suma  $\vec{a}$  de los tres vectores es la misma sin importar en qué orden se sumen los vectores. ¿Cuántas posibilidades puedes encontrar?
9. Un auto recorre 35 km hacia el norte y luego 60 km hacia el este y finaliza su recorrido con 25 km al noreste.
  - Representa gráficamente los desplazamientos.
  - Representa gráficamente el vector desplazamiento total.
10. Si dos vectores tienen módulos diferentes, ¿la suma de ellos puede ser cero? Explica la respuesta.
11. Si la velocidad de la corriente de un río recto es mayor que la rapidez de una lancha en el agua, la lancha no puede atravesar el río. Comenta esta afirmación.
12. Cuando se viaja por una carretera y está lloviendo, se observa que la lluvia cae sobre el vidrio del auto de manera inclinada. ¿Cómo explicas este hecho?

Analiza y resuelve problemas relacionados con magnitudes vectoriales.

13. Determina las componentes rectangulares de un vector  $\vec{b}$ , que forma un ángulo de  $210^\circ$  con la parte positiva del eje  $x$  y tiene módulo de 30 cm.
14. El conductor de un auto  $A$  va en dirección norte a  $30 \text{ m/s}$  y otro auto  $B$  viene a su encuentro con una rapidez de  $10 \text{ m/s}$ . ¿Cuál es el vector velocidad con que se mueve  $B$  respecto de  $A$ ?
15. Halla las componentes rectangulares de un vector  $\vec{A}$  de módulo 10 cm que forma un ángulo de  $45^\circ$  por arriba de la parte positiva del eje  $x$ .



16. Un submarino se sumerge moviéndose en línea recta formando un ángulo de  $15^\circ$  con respecto a la horizontal y sigue una trayectoria recta hasta alcanzar una distancia total de 50 m. ¿Qué tan lejos está el submarino de la superficie?

17. Dados los siguientes vectores, realiza la gráfica en el plano cartesiano que le corresponde a cada uno de ellos.

$a = 10$  unidades en la dirección  $20^\circ$  al este.

$b = 5$  unidades en la dirección  $10^\circ$  al sureste.

$c = 8$  unidades en la dirección  $50^\circ$  al noroeste.

18. Una lancha recorre hacia el norte 3 km, luego gira  $30^\circ$  hacia el noroeste recorriendo 4 km. ¿En qué dirección y hasta dónde debe llegar para alcanzar un punto a 8 km al noroeste de su punto de partida?

19. Dos automóviles parten del mismo punto, pero viajan por calles que son perpendiculares. Si se mueven a  $54 \text{ km/h}$  y a  $72 \text{ km/h}$ , respectivamente, ¿a qué distancia se encuentran entre ellos al cabo de 3 h?

20. Un avión que vuela a  $900 \text{ km/h}$  en el sentido sur-norte, se encuentra con un viento que se dirige en sentido este-oeste, a una velocidad de  $200 \text{ km/h}$ . ¿Cuál es el módulo y la dirección de la velocidad del avión con respecto a la Tierra?

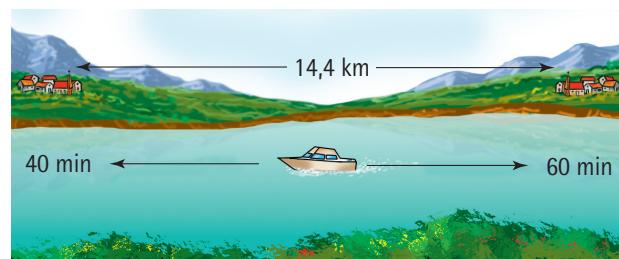
21. Una persona decide atravesar un río en una lancha, si la velocidad con la que asciende la lancha es de  $54 \text{ km/h}$  y la del agua es de  $4 \text{ m/s}$ , ¿con qué velocidad se mueve la lancha con respecto a la orilla?

22. Dos automóviles parten del mismo lugar con velocidades de  $20 \text{ m/s}$  y  $28 \text{ m/s}$ , respectivamente. Cuál es la velocidad de un automóvil con respecto al otro si viajan:

a. en la misma dirección.

b. en sentidos contrarios.

23. Dos pueblos se encuentran en la misma orilla de un río separados a una distancia de  $14,4 \text{ km}$ . El conductor de una lancha observa que poniendo el motor al máximo hace el recorrido entre los dos pueblos en contra de la corriente en 60 minutos, mientras que cuando lo hace a favor de la corriente emplea 40 minutos. ¿Con qué rapidez se mueve la lancha en agua tranquila y con qué rapidez se desplaza la corriente de agua?



© Santillana

24. Una persona desea atravesar un río nadando; si la velocidad del río es de  $3 \text{ m/s}$  y la de la persona es de  $1,5 \text{ m/s}$ , ¿cuánto tiempo se demora en llegar a la otra orilla, si el ancho del río es de  $20 \text{ m}$ ?

25. Dos trenes que viajan con una rapidez constante de  $90 \text{ km/h}$  se aproximan el uno al otro sobre vías rectas perpendiculares entre ellas. Si los trenes se encontraban equidistantes del punto de encuentro y a  $30 \text{ km}$  entre ellos, ¿al cabo de cuánto tiempo se chocarán?

## L Lección

Resuelve problemas de objetos que describen un movimiento compuesto.

1. Dos carros se alejan entre sí, cada uno con rapidez de  $72 \text{ km/h}$  y formando un ángulo de  $110^\circ$  entre ellos. Al cabo de 5 horas, ¿a qué distancia se encuentra cada uno del punto de partida? ¿Qué distancia los separa si partieron simultáneamente del mismo lugar?
2. El piloto de una avioneta debe mantener el rumbo de  $18^\circ$  al noreste para que su avión viaje hacia el este con respecto al suelo. La velocidad de la avioneta es de  $320 \text{ km/h}$  y su velocidad con respecto al suelo es de  $350 \text{ km/h}$ . Calcula la velocidad del viento.

# Movimientos de proyectiles

## Destrezas con criterio de desempeño:

- Analizar el movimiento de un proyectil, a partir de la interpretación del comportamiento de la velocidad y aceleración en dos dimensiones.
- Identificar las magnitudes cinemáticas presentes en un movimiento compuesto, tanto en la dirección horizontal como en la vertical, a partir de la independencia de movimientos simultáneos.

## Conocimientos previos

Si se da un empujón repentino a una piedra sobre el pavimento, ¿esta permanece en movimiento indefinidamente? ¿Cambiará la respuesta si se da el empujón a un bloque de hielo que resbala sobre una superficie congelada? ¿Puede un objeto moverse indefinidamente con sólo darle un empujón inicial?

## EL PRINCIPIO DE INERCIA

En la antigüedad, según la física aristotélica, se pensaba que el movimiento de los objetos en la Tierra no podría permanecer en ningún caso, pues era considerado de carácter transitorio. **Galileo** estableció que el movimiento de un cuerpo no requiere causa alguna, solo el cambio en el movimiento de un objeto requiere una explicación física.

En el experimento de la figura 3.13a, hay dos planos inclinados que se unen por sus extremos. Si una esfera se suelta desde cierta altura en uno de los planos, su velocidad se incrementa con aceleración constante hasta llegar a la base del plano y, posteriormente, subirá por el otro plano hasta detenerse en un punto de altura ligeramente menor con respecto a la altura inicial desde la cual se soltó. ¿Por qué la esfera sube hasta una altura un poco menor que la altura desde la cual se soltó?

Al disminuir la inclinación del segundo plano, como muestra la figura 3.13b, el resultado del experimento sigue siendo el mismo. La esfera llega a una altura un poco menor que la altura del punto desde el cual se ha soltado la esfera en el primer plano, aún cuando debe recorrer mayor distancia.

Supongamos que el segundo plano se coloca de manera horizontal (fig. 3.13c) y que la superficie es perfectamente lisa. ¿Podría la bola rodar indefinidamente manteniendo la velocidad constante?

Galileo, al considerar este experimento, concluyó que si el plano fuera horizontal, la bola permanecería moviéndose indefinidamente con movimiento uniforme.

Los trabajos de Galileo dieron origen al principio de inercia.

*Un cuerpo que se mueve en una superficie plana seguirá en la misma dirección con velocidad constante si nada lo perturba.*

**René Descartes** (1596-1650), filósofo y matemático francés, en su trabajo para tratar de interpretar el mundo escribió: *Todo cuerpo que se mueve tiende a continuar su movimiento en línea recta.*

Todos los cambios en el estado de movimiento tienen tendencia a continuar después de que se suprime el agente externo que causa el cambio en el estado de movimiento. Aunque la experiencia muestra que este solo persiste durante un tiempo limitado.

El principio de inercia refuta la concepción común y errónea de que los movimientos finalizan cuando desaparece la acción del agente que los produce.

## Investiga

Indaga sobre el matemático francés y su trabajo para interpretar el mundo.

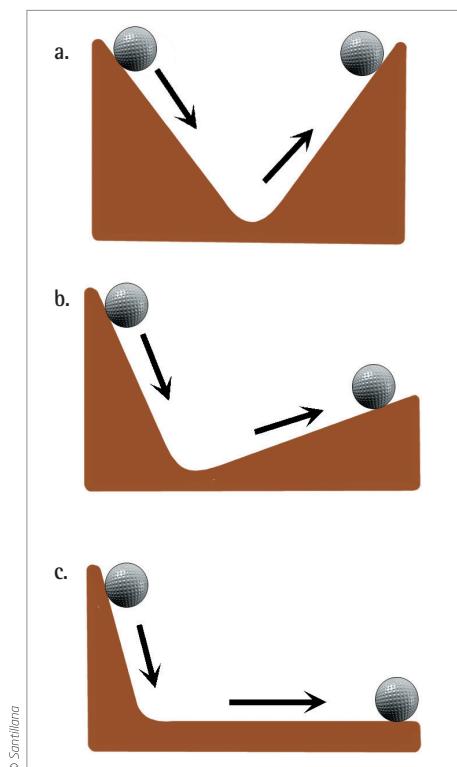


Fig. 3.13.a. En ausencia de rozamiento, la esfera llega, en el segundo plano hasta la misma altura. b. Al reducir la inclinación del segundo plano, la esfera llega hasta la misma altura. c. Si el segundo plano fuera horizontal y «perfectamente liso», la esfera no se detendría nunca.



### Investiga

¿Por qué decimos que estamos utilizando el principio de inercia en la descripción del movimiento visto por el observador en la orilla?

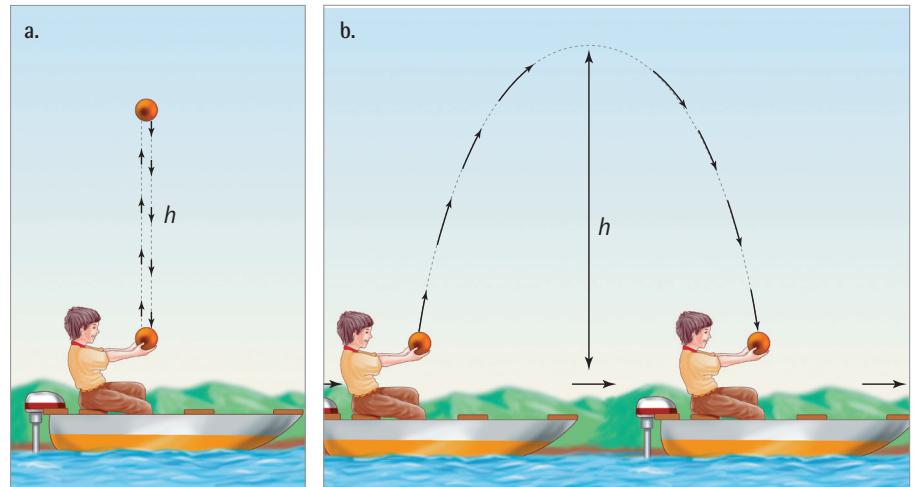


Fig. 3.14. Quien lanza la pelota hacia arriba observa el mismo movimiento en ambos casos: cuando la lancha está en reposo (a) y cuando la lancha se mueve con velocidad constante (b). Desde la orilla, en cambio, se observan movimientos distintos entre sí.

Supongamos que una persona va en una lancha que se mueve con velocidad constante. Si lanza una pelota hacia arriba, ¿esta cae de nuevo a sus manos, detrás de ella o adelante de ella? En la figura 3.14a se observa la trayectoria que se ve dentro de la lancha. El movimiento visto desde la lancha es el de un objeto que se mueve inicialmente hacia arriba con determinada velocidad hasta que alcanza velocidad cero y entonces cae.

Para analizar lo que ve un observador en la orilla, se aplica el principio de independencia y el principio de inercia. El movimiento de la pelota tiene dos componentes independientes. Una corresponde al movimiento vertical de un objeto lanzado hacia arriba que regresa al punto de partida. La otra se refiere al movimiento horizontal con velocidad constante.

Por ejemplo, en la figura 3.14b, el objeto es lanzado con velocidad de 4,9 m/s dentro de la lancha que se mueve con velocidad de 8 m/s. Para determinar cuánto tiempo emplea la pelota en alcanzar el punto más alto, consideramos:

En el punto más alto de la trayectoria, la velocidad de la pelota es cero, a partir de la expresión:

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

tenemos que:

$$0 = 4,9 \text{ m/s} - 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t$$

luego, el tiempo en alcanzar la altura máxima es:

$$t = 0,5 \text{ s}$$

La altura alcanzada en el movimiento hacia arriba es 1,25 m y mientras la pelota alcanza esa altura, la lancha se habrá desplazado una distancia  $\Delta x = v \cdot t$ , de donde  $\Delta x = 8 \text{ m/s} \cdot 0,5 \text{ s} = 4 \text{ m}$

La pelota regresa a las manos de quien la lanzó un segundo después y entre tanto, la lancha se habrá desplazado 8 m.

Este ejemplo, en el que la pelota cae en manos de quien la lanzó, así la lancha esté en reposo o se mueva con velocidad constante, ilustra cómo el principio de inercia modificó las orientaciones que había acerca del movimiento. Entonces se hizo necesario reconocer cierta afinidad entre un objeto en reposo y otro moviéndose con velocidad constante sobre una superficie plana.

### TI C

Si quieres conocer más sobre el principio de inercia, busca la página *Dinámica* en la dirección [goo.gl/0a75D](http://goo.gl/0a75D).

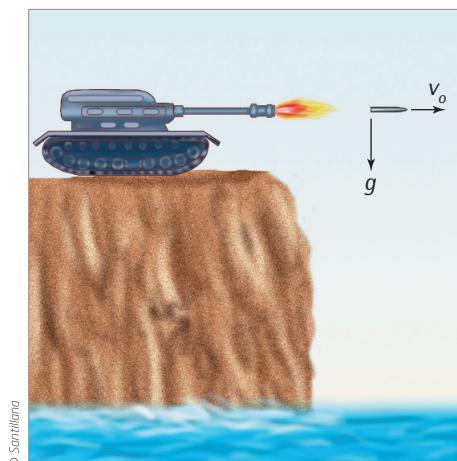


Fig. 3.15. La velocidad inicial en el lanzamiento horizontal es perpendicular a la aceleración de la gravedad.

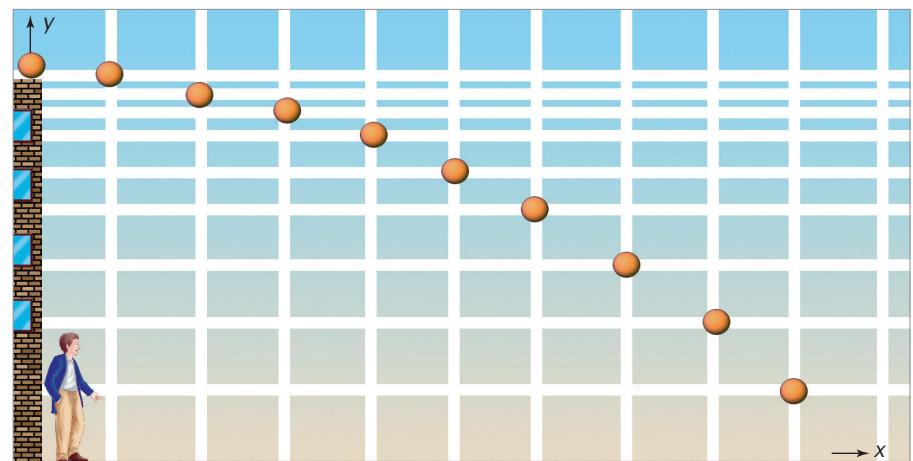


Fig. 3.16 El movimiento de la pelota es la composición de un movimiento en el eje  $x$  y un movimiento en el eje  $y$ .

### LANZAMIENTO HORIZONTAL

Se le da el nombre de *lanzamiento horizontal* al movimiento que describe un proyectil cuando se dispara horizontalmente desde cierta altura con una velocidad inicial  $v_0$ . Bajo estas condiciones, el vector velocidad inicial es perpendicular a la aceleración de la gravedad,  $g$  (fig. 3.15).

Analicemos cuál es la diferencia entre este movimiento de lanzamiento horizontal y el movimiento de caída libre. Supongamos que se lanza una pelota desde la azotea de un edificio en forma horizontal. El objeto además de caer, se mueve horizontalmente. Es decir, se puede analizar el movimiento de la pelota, como el resultado de dos movimientos diferentes.

Al representar esta situación en un plano de coordenadas cartesianas, uno de los movimientos ocurrirá en el eje  $x$ , mientras el otro lo hará en el eje  $y$ .

Supongamos que se ilumina la pelota desde arriba, el movimiento de la sombra proyectada sobre el piso es equivalente al movimiento horizontal de la pelota (fig. 3.16). Vemos que la sombra recorre distancias iguales en tiempos iguales, es decir, que el movimiento de la pelota se realiza con velocidad constante.

La velocidad con la que avanza la sombra coincide con la velocidad con que la pelota abandonó la superficie de la azotea. Es decir, la pelota se mueve en la dirección horizontal, siempre con la misma velocidad. Por lo tanto:

El movimiento horizontal de la pelota es rectilíneo y uniforme; es decir, no existe aceleración en el eje  $x$ .

Si se ilumina la pelota desde un costado, el movimiento de la sombra proyectada sobre la pared del edificio (fig. 3.16) recorre distancias cada vez mayores en intervalos iguales de tiempo, es decir, que el movimiento vertical de la pelota se realiza con velocidad variable. Además, si medimos cómo se va desplazando de la sombra sobre la pared, vemos que lo hace como cualquier objeto que se encuentra en caída libre, entonces:

**El movimiento vertical de la pelota es uniformemente variado, con una aceleración igual a la aceleración de la gravedad.**

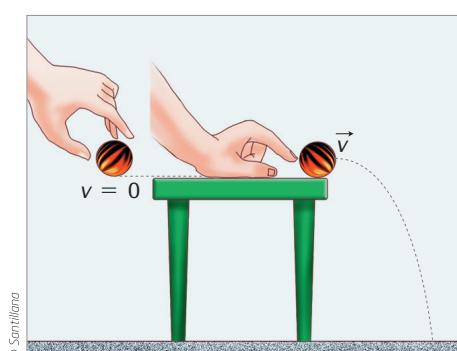


Fig. 3.17. Los dos objetos parten del borde de la mesa y emplean el mismo tiempo en tocar el suelo. ¿Por qué?

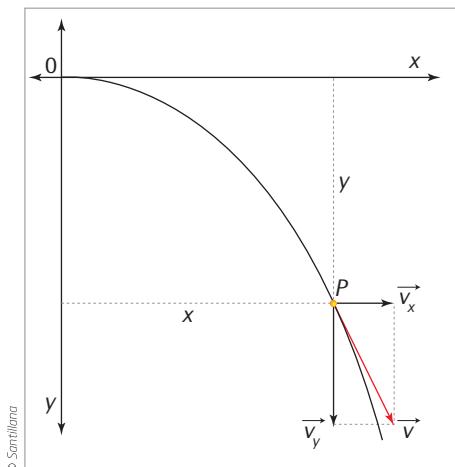
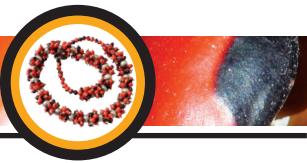


Fig. 3.18. Trayectoria de un objeto lanzado horizontalmente.

Es muy importante destacar que la componente horizontal de la velocidad de la pelota es independiente de la componente vertical.

¿Cómo sería la trayectoria de la pelota, si la lanzamos de tal manera que abandona la superficie de la azotea con el doble de rapidez?

En el eje  $x$ , la pelota avanzará con velocidad constante, por lo tanto se duplicará la distancia horizontal que recorre en la unidad de tiempo. En el eje  $y$ , seguiremos observando una caída libre, de modo que, las posiciones verticales serán las mismas del caso anterior. La trayectoria de la pelota tendría la forma ilustrada en la figura 3.18, pero estirada, al doble, en la dirección horizontal.

Decimos, entonces, que:

**El movimiento de un proyectil está compuesto por dos movimientos: uno rectilíneo y uniforme (en el eje  $x$ ); y otro, rectilíneo uniformemente variado (en el eje  $y$ ). La combinación de estos dos movimientos determina la trayectoria que describe el cuerpo.**

Para estudiar esta composición de movimientos rectilíneos se utiliza como sistema de referencia el formado por dos ejes de coordenadas cartesianas  $x - y$  en cuyo origen  $(0, 0)$  se sitúa en el punto de disparo.

En cualquier punto de la trayectoria, la velocidad del objeto tiene dos componentes  $v_x$  y  $v_y$ , es decir, que la velocidad es  $v = (v_x, v_y)$  y su dirección es tangente a la trayectoria.

Resumamos algunas características de la composición de los movimientos:

Si el lanzamiento horizontal se produce con velocidad inicial  $v_o$ , en cualquier posición  $P$ , la componente  $v_x$  de la velocidad del proyectil coincide con la velocidad de disparo  $v_o$ , puesto que se desprecia la resistencia del aire. Es decir,

$$v_x = v_o$$

y la coordenada de la posición en el eje  $x$  está dada por

$$x = v_o \cdot t$$

El movimiento rectilíneo vertical es un movimiento de caída libre, con velocidad inicial cero. Para cualquier posición,  $P$ , la componente  $v_y$  de la velocidad del proyectil coincide con la velocidad de caída.

Es decir,  $v_y = v_{oy} + g \cdot t$ , donde  $v_{oy} = 0$ , por tanto  $v_y = g \cdot t$  y la coordenada de la posición en el eje  $y$  se obtiene a partir de:

$$y = v_{oy} \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Pero como  $v_y = 0$ , tenemos que  $y = \frac{g \cdot t^2}{2}$

Pero ¿qué forma tiene la trayectoria seguida por el proyectil? Para dar respuesta a este interrogante veamos el siguiente desarrollo.

A partir de la expresión  $x = v_o \cdot t$  obtenemos que el tiempo  $t$  es:  $t = \frac{x}{v_o}$

Al sustituir esta expresión del tiempo obtenemos

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

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \left(\frac{x}{v_o}\right)^2, \text{ es decir, } y = \frac{g \cdot x^2}{2v_o^2}$$

lo cual corresponde a la ecuación de una parábola, como se muestra en la figura 3.19.

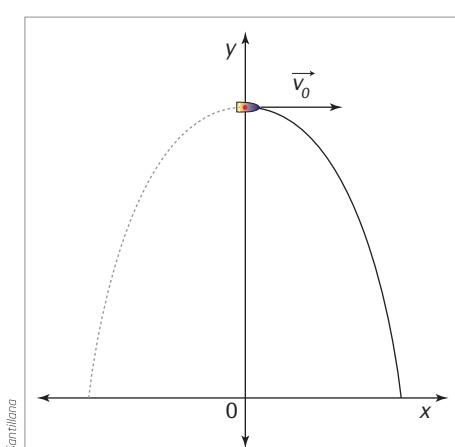


Fig. 3.19. La trayectoria de un objeto lanzado horizontalmente es una parábola.

### Ejemplo

Desde lo alto de un acantilado de 80 m sobre el nivel del mar se dispara horizontalmente un proyectil con velocidad inicial de 50 m/s (fig. 3.20). Determina:

- La posición del proyectil 2 segundos después del disparo.
- La ecuación de la trayectoria que describe el proyectil.
- La velocidad y la posición del proyectil al incidir en el agua.

#### Solución

En el transcurso del tiempo mientras sucede el movimiento, el proyectil avanza horizontalmente con movimiento rectilíneo uniforme. En este caso, la componente  $x$  de la posición es  $x = v_o \cdot t$

Simultáneamente, desciende en forma vertical con movimiento uniformemente acelerado. En este caso la componente en  $y$  de la posición está dada por:

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (\text{como } V_y = 0)$$

- Al cabo de 2 segundos, las coordenadas de la posición  $P$  son:

$$x = v_x \cdot t = v_o \cdot t = 50 \text{ m/s} \cdot 2 \text{ s} = 100 \text{ m}$$

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = -\frac{1}{2} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (2 \text{ s})^2 = -19,6 \text{ m}$$

La posición a los 2 segundos es (100 m, -19,6 m)

- La ecuación de la trayectoria se obtiene a partir de:

$$x = v_o \cdot t, \text{ entonces } t = \frac{x}{v_o}, \text{ por tanto, } t = \frac{x}{50}$$

Sustituyendo en la expresión para  $y$  tenemos:

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2, \text{ por tanto, } y = -\frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot \frac{x^2}{50^2}, \text{ luego } y = -1,96 \cdot 10^{-3} \cdot x^2$$

Lo cual ilustra que la trayectoria del proyectil es una parábola.

- El proyectil al incidir en el agua, ha empleado un tiempo equivalente al de descenso en caída libre desde la altura de 80 m.

Así pues,

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2, \text{ por tanto, } -80 \text{ m} = -1/2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t^2, \text{ luego } t = 4 \text{ s}$$

La velocidad en el eje  $x$ , en todos los puntos es  $v_x = 50 \text{ m/s}$ , y la velocidad en el eje  $y$  está dada por  $v_y = g \cdot t$ , por tanto en el instante  $t = 2 \text{ s}$ , tenemos,

$$v_y = -9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 4 \text{ s} = -39,2 \text{ m/s}$$

El vector velocidad al llegar al agua es  $\vec{v} = (50, -39,2)$ , componentes medidas en m/s

El módulo de la velocidad es:

$$v = \sqrt{(50 \text{ m/s})^2 + (39,2 \text{ m/s})^2} = 63 \text{ m/s}$$

La posición  $A$  al caer al agua es:

$$x = v_o \cdot t = 50 \text{ m/s} \cdot 4 \text{ s} = 200 \text{ m} \text{ y } y = -80 \text{ m}$$

Es decir, que el impacto en el agua ocurre en el punto de coordenadas (200 m, -80 m).

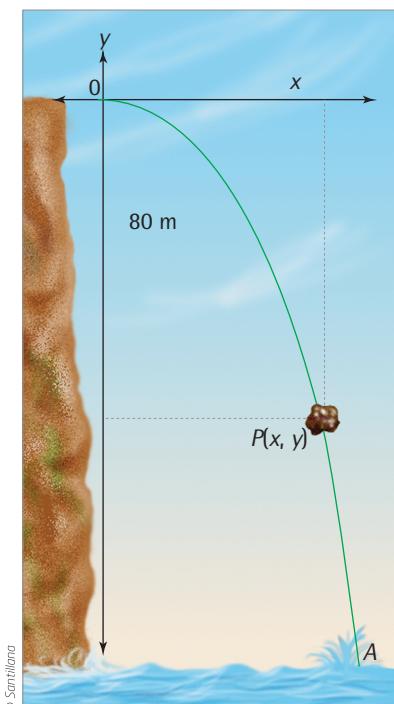


Fig. 3.20. Trayectoria del proyectil.

### Tc Trabajo cooperativo

Desde el borde de un acantilado, un muchacho lanza horizontalmente una piedra con velocidad inicial de 20 m/s. Si el borde del acantilado está a 50 m por encima del nivel del mar, responde:

- ¿Cuánto tiempo tarda la piedra en llegar al agua?
- ¿Cuál es el valor de la velocidad y cuál es la posición de la piedra un segundo después de haber sido lanzada?
- ¿Qué desplazamiento horizontal experimenta la piedra mientras llega al agua?



## Análisis, ecuaciones y gráficas del movimiento de proyectiles



© Santillana



Si quieras conocer más sobre lanzamientos de proyectiles, busca la página *Proyecto salón hogar* en la dirección [goo.gl/yIWsR](http://goo.gl/yIWsR).



### Tarea

¿Qué significado tienen las velocidades negativas sobre el eje y? ¿En qué parte de la trayectoria las velocidades en el eje y son negativas?

Imagina que se lanza un objeto con velocidad  $v_o$  que forma con la horizontal un ángulo  $\alpha_o$  (fig. 3.21). La velocidad inicial tiene dos componentes:  $v_{ox}$  y  $v_{oy}$ , representados como:

$$v_{ox} = v_o \cdot \cos \alpha_o \quad v_{oy} = v_o \cdot \sin \alpha_o$$

Al igual que en el lanzamiento horizontal, este movimiento se puede considerar como la composición de dos movimientos: uno vertical, como el de un objeto lanzado hacia arriba con velocidad  $v_{oy}$  que regresa a Tierra y otro horizontal con velocidad constante  $v_{ox}$  (fig. 3.22).

Observa que la velocidad en el movimiento vertical disminuye exactamente en la misma proporción en la que aumenta cuando se dirige hacia abajo. El cuerpo asciende y pierde velocidad hasta que, por un instante, su velocidad vertical es cero, en el punto más alto, y luego desciende empleando el mismo tiempo que utilizó en subir en regresar al nivel desde el que fue lanzado.

**El movimiento del proyectil es un movimiento combinado: el proyectil tiene movimiento vertical y además, se desplaza horizontalmente recorriendo distancias iguales en tiempos iguales.**

Observa que si tomamos el origen (0, 0) en el punto de partida del proyectil, al cabo de determinado tiempo el objeto ocupa la posición ( $x$ ,  $y$ ) y se mueve con velocidad.

$\vec{v} = (v_x, v_y)$ , donde

$$x = v_x \cdot t \quad y = v_{oy} \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$v_x = v_{ox} = \text{constante}$

$$v_y = v_{oy} + g \cdot t$$

$g$  es un valor algebraico  
y es igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$

Puesto que la componente de la velocidad en el eje  $x$  es constante, su valor en cualquier instante es el mismo que en el momento del lanzamiento,  $v_x$ .

La aceleración solo tiene componente en el eje  $y$ , que es la aceleración de la gravedad (fig. 3.23). La velocidad de un objeto con trayectoria curva es un vector tangente a la misma, en la figura 3.11 se ha trazado el vector velocidad en algunos puntos de la trayectoria.

A partir de las expresiones para  $x$  y para  $y$  es posible determinar la posición del objeto en cualquier instante de tiempo. Por ejemplo, si se toma el sentido positivo del eje  $y$  hacia arriba, a una posición por debajo del nivel desde el que un objeto es lanzado le corresponde un valor de  $y$  negativo.

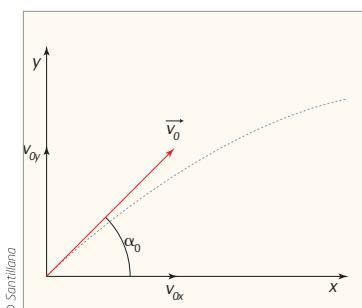


Fig. 3.21. Componentes de la velocidad inicial  $\vec{v}_0$  del lanzamiento de un proyectil. La línea punteada indica la trayectoria seguida por el proyectil.

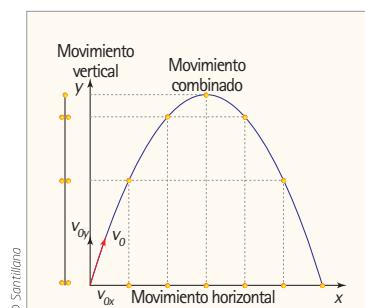


Fig. 3.22. La figura ilustra la composición del movimiento de un proyectil en dos movimientos, uno horizontal y otro vertical.

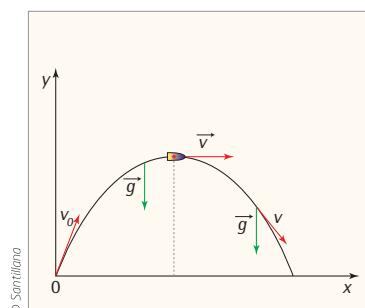


Fig. 3.23. El proyectil describe una parábola. La aceleración es la de la gravedad y la velocidad en cada punto es tangente a la trayectoria.

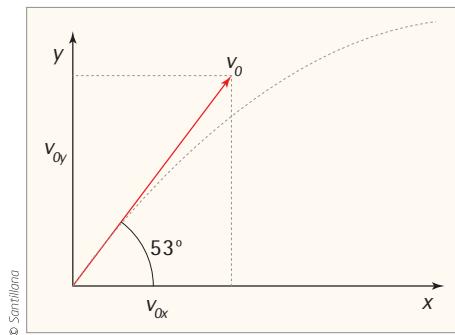


Fig. 3.24. Componentes de la velocidad inicial.

© Santillana

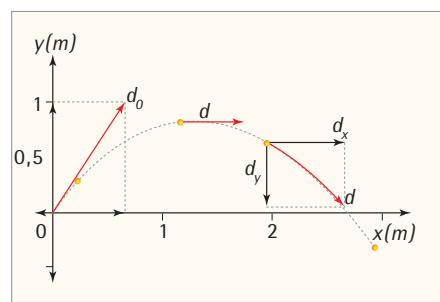


Fig. 3.25. Trayectoria del objeto.

© Santillana

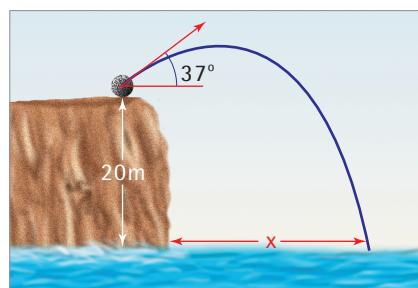


Fig. 3.26. El objeto se lanza desde una altura de 20 m.

### Ejemplo

Un objeto se lanza con velocidad de 5 m/s formando con la horizontal un ángulo de 53°.

- Determina las componentes  $v_{ox}$  y  $v_{oy}$  de la velocidad inicial.
- Calcula los valores de las componentes de la velocidad y los valores de  $x$  y  $y$ , para 0,3 s y para 0,6 s.
- Calcula el tiempo en alcanzar la altura máxima.
- Determina la altura máxima.

### Solución

- Las componentes de la velocidad inicial están dadas por las expresiones:

$$v_{ox} = v_0 \cdot \cos \alpha_0 = 5 \text{ m/s} \cdot \cos 53^\circ = 5 \text{ m/s} \cdot 0,6 = 3 \text{ m/s}$$

$$v_{oy} = v_0 \cdot \sin \alpha_0 = 5 \text{ m/s} \cdot \sin 53^\circ = 5 \text{ m/s} \cdot 0,8 = 4 \text{ m/s}$$

El vector velocidad inicial es:  $v_0 = (3, 4)$ , cuyas componentes están medidas en m/s (fig. 3.24).

- Al cabo de 0,3 s la velocidad en el eje  $x$  es  $v_x = 3 \text{ m/s}$ , pues siempre es constante y la velocidad en el eje  $y$  es:

$$v_y = v_{oy} + g \cdot t = 4 \text{ m/s} - 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (0,3 \text{ s}) = -1,06 \text{ m/s}$$

Al cabo de 0,6 s la velocidad en el eje  $x$  es  $v_x = 3 \text{ m/s}$  y la velocidad en el eje  $y$  se obtiene de la expresión:

$$v_y = v_{oy} + g \cdot t = 4 \text{ m/s} - 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (0,6 \text{ s}) = -1,88 \text{ m/s}$$

La posición al cabo de 0,3 s en el eje  $x$  es:

$$x = v_x \cdot t = 3 \text{ m/s} \cdot 0,3 \text{ s} = 0,9 \text{ m}$$

Igualmente, la posición en el eje  $y$  es:

$$y = v_{oy} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 4 \text{ m/s} \cdot 0,3 \text{ s} - \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (0,3 \text{ s})^2}{2} = 0,76 \text{ m}$$

Es decir, que a los 0,3 s ocupa la posición (0,9 m, 0,76 m).

De la misma manera la posición al cabo de 0,6 s, en el eje  $x$  es:

$$x = v_x \cdot t = 3 \text{ m/s} \cdot 0,6 \text{ s} = 1,8 \text{ m}$$

Y en el eje  $y$  es:

$$y = v_{oy} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 4 \text{ m/s} \cdot 0,6 \text{ s} - \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (0,6 \text{ s})^2}{2} = 0,64 \text{ m}$$

Es decir, que a los 0,6 s ocupa la posición (1,8 m, 0,64 m).

- Para calcular el tiempo que tarda en alcanzar la altura máxima sabemos que, en el punto más alto, la componente vertical de la velocidad  $v_y$  es cero, por tanto, a partir de la expresión:  $v_y = v_{oy} + g \cdot t$ , obtenemos

$$0 = 4 \text{ m/s} - 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t, \text{ de donde, } t = 0,41 \text{ s}$$

- Sabemos que alcanzó la altura máxima en 0,41 s, por tanto, la altura máxima es (fig. 3.25):

$$y = v_{oy} \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2 = 4 \text{ m/s} \cdot 0,41 \text{ s} - \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (0,41 \text{ s})^2}{2} = 0,82 \text{ m}$$

### Tarea

Un proyectil se lanza desde una altura de 20 m con velocidad inicial de 20 m/s formando con la horizontal un ángulo de 37° (fig. 3.26). Calcula el tiempo empleado en caer al suelo y la distancia horizontal que avanzó antes de caer.



## Actividades

Gráfica y rotula vectores de magnitudes cinemáticas sobre la trayectoria descrita.

1. Se lanza una piedra desde el suelo con valores de las componentes horizontal y vertical de la velocidad de 25 m/s y 10 m/s, respectivamente. Si cae al suelo, determina la distancia a la cual cae con respecto al sitio de salida.

Determina las componentes del vector velocidad.

2. Un proyectil lanzado hacia arriba con determinada inclinación con respecto a la horizontal, con velocidad horizontal de 50 m/s, llega a 400 m del punto de lanzamiento. Determina la componente vertical de la velocidad.

Resuelve problemas sobre lanzamiento de proyectiles.

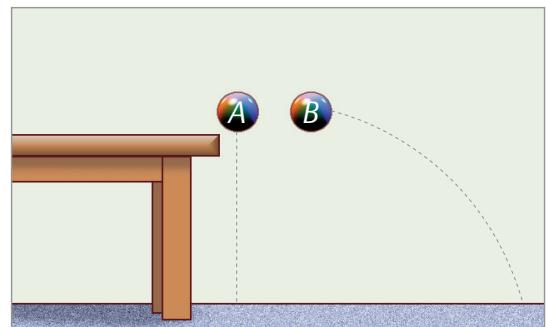
3. Un proyectil se lanza con velocidad de 10 m/s. Dibuja las trayectorias seguidas si el ángulo de lanzamiento es de  $30^\circ$  y si el ángulo de lanzamiento es de  $60^\circ$ . Realiza los cálculos que consideres pertinentes.

Plantea ejemplos de lanzamiento de proyectiles.

4. Plantea un ejemplo que muestre que la distancia horizontal que alcanza un proyectil no se modifica si intercambiamos las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial.

Resuelve problemas de lanzamiento de proyectiles.

5. Si desde el borde de una mesa se deja caer libremente una esfera A y al mismo tiempo se lanza horizontalmente desde el mismo punto otra esfera B con determinada velocidad inicial, ¿cuál de las dos esferas cae al suelo con mayor velocidad? ¿Cuál llega primero al piso?
6. Desde un avión que vuela a 1 000 m de altura y a una velocidad de 720 km/h, se deja caer un proyectil. ¿A qué distancia (horizontal) del blanco debe dejar caer el proyectil para que este haga explosión justo en el punto deseado?
7. Justifica por qué la velocidad en el punto más alto de la trayectoria de un proyectil no es cero.
8. Desde un avión que vuela a velocidad constante se deja caer un paracaidista. Describe la trayectoria del paracaidista, antes de que se abra el paracaídas, vista por un observador situado dentro del avión y por un observador situado en Tierra.



© Santillana

## L Lección

Resuelve problemas de lanzamiento de proyectiles.

1. Lee y responde. Argumenta tu respuesta.

La aceleración de la gravedad en la Luna es la sexta parte del valor de dicha aceleración en la Tierra.

Si un proyectil recorre horizontalmente 100 m en la Tierra, ¿recorrerá mayor o menor distancia en la Luna al lanzarlo con la misma velocidad que en la Tierra?

2. ¿Siempre se obtiene un movimiento de trayectoria parabólica a partir de la composición de movimientos?

# Problemas de ampliación

Gráfica y rotula vectores.

1. La posición que ocupa un cuerpo en diferentes instantes de tiempo se representa por medio de los vectores:

$$\begin{array}{ll} t = 0 \text{ s} & \vec{r} = (-5, 0) \\ t = 1 \text{ s} & \vec{r} = (-3, 4) \\ t = 2 \text{ s} & \vec{r} = (0, 5) \\ t = 3 \text{ s} & \vec{r} = (3, 4) \\ t = 4 \text{ s} & \vec{r} = (5, 0) \end{array}$$

a. Ubica cada vector en el plano cartesiano.  
b. Grafica una posible trayectoria del cuerpo.

Gráfica y rotula vectores de magnitudes cinemáticas sobre la trayectoria descrita.

2. Dibuja la trayectoria de un proyectil que es lanzado con una velocidad que forma un ángulo con la horizontal de  $45^\circ$ . Sobre ella, dibuja el vector velocidad y el vector aceleración en el punto de salida, en el más alto y, en el punto más bajo de la trayectoria.

Reconoce velocidad y aceleración en el eje horizontal y vertical de un objeto con movimiento compuesto.

3. La velocidad de un cuerpo es de  $25 \text{ m/s}$  a  $40^\circ$  hacia el noroeste, ¿cómo se representa dicho vector en el eje de coordenadas?

4. Determina cuál de los siguientes valores no puede representar el módulo de un vector:  $18 \text{ km}$ ,  $27 \text{ m/s}$ ,  $-4 \text{ km/h}$ ,  $80 \text{ kg}$

5. Escoge la afirmación que determine como está compuesto el movimiento de un proyectil. Justifica tu respuesta.

- Dos movimientos rectilíneos uniformemente acelerados.
- Dos movimientos rectilíneos uniformes.
- Un movimiento rectilíneo uniforme y uno uniformemente acelerado.
- Un movimiento uniformemente acelerado y uno circular.

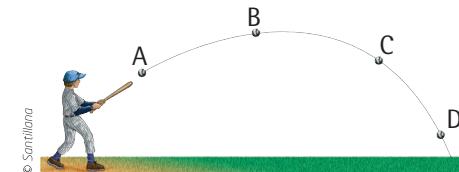
Gráfica y rotula vectores.

6. El movimiento de un objeto lanzado con determinado ángulo de inclinación es la composición de dos movimientos, uno vertical y uno horizontal. Explica por qué el movimiento vertical es uniformemente variado.

## Investiga

¿Qué debemos conocer para encontrar la altura alcanzada por un proyectil en la Tierra?

7. Un beisbolista batea la bola de tal manera que describe una trayectoria parabólica como la de la figura.



a. Dibuja el vector aceleración en los puntos indicados en la trayectoria.  
b. ¿Cuál es el módulo de este vector en dichos puntos? Justifica tu respuesta.

8. ¿La velocidad de un proyectil puede ser constante a lo largo de su trayectoria parabólica? Explica por qué.

Determina las coordenadas de un proyectil en un tiempo dado, la altura y alcance máximos conocidos, la velocidad y el ángulo de lanzamiento.

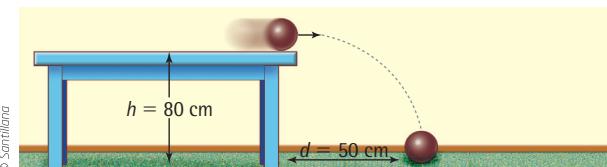
9. Desde lo alto de un edificio de  $20 \text{ m}$  de altura se lanza horizontalmente una pelota con una velocidad  $v_{ox} = 2 \text{ m/s}$ . ¿Cuál es la posición de la pelota  $0,5$  segundos después de ser lanzada?

10. Se lanza un trozo de madera desde el techo de una casa que está a  $8,4 \text{ m}$  de altura, con una velocidad horizontal  $v_{ox} = 6,4 \text{ m/s}$ . ¿Cuánto tiempo tarda en llegar al suelo la madera?

11. Un electrón se lanza con un cañón electrónico horizontalmente hacia una pantalla de televisión con una rapidez horizontal  $v_{ox} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ . Si la pantalla está a  $35 \text{ cm}$ , ¿qué tan abajo de la pantalla caerá el electrón?

12. Un jugador de fútbol patea, en el suelo, el balón con un ángulo de  $45^\circ$  y le proporciona una velocidad de  $10 \text{ m/s}$ . ¿Cuánto tiempo tarda el balón en llegar al suelo?

13. Una persona empuja una pelota por una mesa de  $80 \text{ cm}$  de alto y cae a  $50 \text{ cm}$  del borde de la mesa, como se observa en la figura. ¿Con qué velocidad horizontal abandonó la mesa la pelota?





14. Se lanza una pelota al aire formando un ángulo con la horizontal. Cuando está a 12 m sobre el piso, las componentes de su velocidad en las direcciones horizontal y vertical son 4,5 m/s y 3,36 m/s, respectivamente. ¿Cuál es la velocidad inicial de la pelota? ¿Qué altura máxima alcanza la pelota?

15. Un motociclista desea atravesar un charco de 12 m de ancho, utilizando la inclinación de  $15^\circ$  que la orilla del charco forma con la horizontal. ¿Qué velocidad debe tener la moto en el momento que salta para lograr pasar el charco?

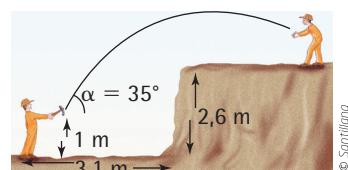
16. Desde lo alto de un edificio, una persona lanza horizontalmente una pelota que tarda 6 segundos en llegar a la base del edificio. Si la pelota cae a 12 m de la base del edificio, ¿con qué velocidad horizontal se lanzó la pelota? ¿Cuál es la altura del edificio?

17. Un obrero lanza una herramienta con movimiento parabólico a un amigo. Si lanza la herramienta con una velocidad de 5 m/s formando un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal, ¿a qué distancia debe estar el amigo para que reciba la herramienta en las manos?

Determina las coordenadas de un proyectil en un tiempo dado, la altura y alcance máximos conocidos, la velocidad y el ángulo de lanzamiento.

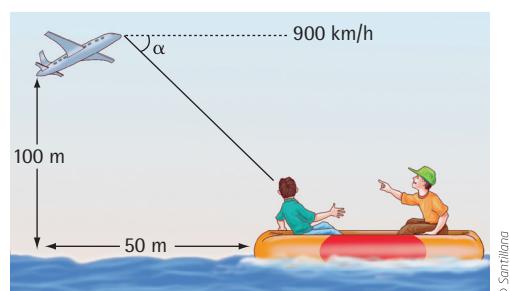
18. En un circo, se dispara una bala humana de un cañón con velocidad de 35 km/h con un ángulo de  $40^\circ$  con la horizontal. Si la bala humana abandona el cañón a un metro de distancia del suelo, y cae en una red a dos metros sobre la superficie del suelo, ¿qué tiempo permanece en el aire?

19. Un albañil está de pie a 3,1 m de distancia de una zanja de 2,6 m de profundidad, como se observa en la figura. Cuando su mano está a 1 m del fondo de la zanja, le lanza un martillo a un compañero que se encuentra fuera de ella. La velocidad de salida forma con la horizontal un ángulo de  $35^\circ$ . ¿Cuál es la rapidez mínima que debe tener el martillo para librarse de la pared de la zanja? ¿A qué distancia de la pared de la zanja toca el suelo?



20. Un buzo se lanza desde un trampolín que está a 4,0 m del nivel del agua, con una velocidad de 10 m/s y en un ángulo de  $45^\circ$  sobre la horizontal. ¿Cuál es la altura máxima que alcanza el buzo respecto al agua?

21. Un avión de rescate vuela horizontalmente con una velocidad de 900 km/h y a una altura de 100 m sobre la superficie del océano, para arrojar un paquete de alimentos a unos naufragos. ¿Con qué ángulo de la línea visual debe soltar el piloto el paquete?



© Santillana

## L Lección

Determina las coordenadas de un proyectil en un tiempo dado, la altura y alcance máximos conocidos, la velocidad y el ángulo de lanzamiento.

1. ¿Cuál de las afirmaciones se cumple en el lanzamiento de un proyectil cuando mayor es su ángulo? Grafica tu respuesta.

- a. Cae más lejos.
- b. Alcanza mayor altura.
- c. Tarda menos tiempo en caer.
- d. En la altura máxima, alcanza la mayor aceleración.

Reconoce velocidad y aceleración en el eje horizontal y vertical de un objeto con movimiento compuesto.

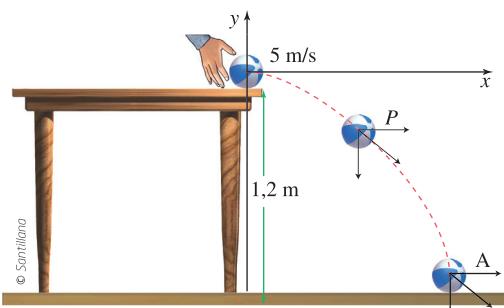
2. ¿Cuál de las afirmaciones se cumplen en el punto más alto de la trayectoria de un balón pateado con un ángulo determinado? Complementa tu respuesta con un gráfico.

- a. La velocidad es máxima.
- b. La aceleración es mínima.
- c. La aceleración es igual que en cualquier otro punto.
- d. La velocidad es cero.

## Problemas de ampliación

Analiza y resuelve problemas relacionados con magnitudes vectoriales.

1. **Cuando un pescador rema en su canoa se mueve a una velocidad de 3 m/s. Si va a cruzar el río cuya corriente tiene una velocidad de 1 m/s, ¿con qué velocidad se mueve el pescador con respecto a la orilla del río?**
2. **Andrés lanza una moneda con velocidad de 2,45 m/s dentro de un bus que se mueve con velocidad de 10 m/s. Determina:**
  - a. El tiempo que emplea la moneda en alcanzar el punto más alto.
  - b. La altura máxima que alcanza la moneda.
  - c. La distancia que recorre el bus mientras la moneda está en el aire.
3. **Desde la superficie de una mesa de 1,2 m de alto se lanza horizontalmente una pelota, con velocidad inicial de 5 m/s. Determina:**
  - a. La posición de la pelota 0,2 segundos después del lanzamiento.
  - b. La posición de la pelota al chocar con el piso.
  - c. La velocidad de la pelota inmediatamente antes de chocar con el piso.



4. **Un jugador patea una pelota con una velocidad que forma un ángulo con la horizontal. Si la pelota lleva una velocidad horizontal de 2 m/s y cae a 16 m de donde fue lanzada, ¿cuál es la componente vertical de la velocidad de lanzamiento?**
5. **Un automóvil parte del reposo hasta alcanzar una velocidad  $v$ , con la que se mueve durante un tiempo  $t$  y finalmente se detiene después de aplicar los frenos. ¿Puede afirmarse que durante todo el movimiento la velocidad y la aceleración tienen la misma dirección?**



6. **Dos automóviles, A y B, se mueven con la misma rapidez en un camino largo y recto, ¿con qué velocidad se mueve al auto B con respecto al auto A? si:**

- a. Se dirigen el uno hacia el otro.
- b. Se alejan el uno del otro.
- c. Se mueven en la misma dirección.

7. **Un avión parte de una ciudad A hacia una ciudad B recorriendo 350 km hacia el este. Luego, desde la ciudad B, va a la ciudad C recorriendo 420**



**km al norte. ¿Qué ubicación debe programar el piloto de la ciudad A para poder viajar a ella desde la ciudad C?**

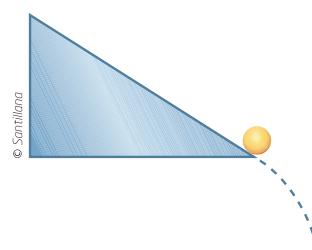
8. **Dos niños juegan con dos canicas en una mesa, si uno deja caer la canica desde la altura de la mesa y al mismo tiempo el otro niño empuja su canica horizontalmente desde el borde de la mesa,**



- a. ¿Cuál de las dos canicas llega primero al suelo? ¿Por qué?
- b. ¿Cuál llega con mayor velocidad al suelo? ¿Por qué?

9. **Para una esfera que rueda por una rampa inclinada y luego se separa de ella, es correcto afirmar que:**

- a. El movimiento durante el tiempo que la esfera está en contacto con la rampa es rectilíneo uniforme.
- b. El movimiento de la esfera al separarse de la rampa es una caída libre.
- c. La esfera al separarse de la rampa tiene el movimiento de los proyectiles.
- d. El movimiento de la esfera al salir de la rampa es un lanzamiento horizontal.



# Evaluación

**Indicador esencial de evaluación:** Establece desplazamiento, distancia, velocidad, rapidez y aceleración en movimiento bidimensional.

**1 punto** 1. Responde. ¿En qué se diferencia el planteamiento hecho por Aristóteles y Galileo con respecto al movimiento de un cuerpo en un plano horizontal?

**2 puntos** 2. Representa el vector velocidad resultante en cada uno de los siguientes casos:

- Un atleta que cruza un río nadando hacia la otra orilla a 8 m/s cuando el río corre con una velocidad perpendicular a él de 6 m/s.
- Una golondrina que vuela horizontalmente a 6 m/s mientras que el viento sopla a 2,5 m/s, formándose entre las dos velocidades un ángulo de 50°.

**1 punto** 3. Examina las siguientes magnitudes físicas y establece si ellas son vectoriales o escalares; longitud, velocidad, aceleración, temperatura, área y densidad. Justifica tu respuesta.

**1 punto** 4. Da un ejemplo en el que dos cuerpos describan la misma trayectoria, pero realicen diferente desplazamiento.

**Indicador esencial de evaluación:** Reconoce velocidad y aceleración en el eje horizontal (x) y vertical (y) de un objeto que describe movimiento compuesto.

**1 punto** 5. Un perro que persigue un automóvil recorre 20 m al norte y 30 m al oeste, ¿cuál es la posición final del perro con respecto al punto donde comenzó?

**1 punto** 6. Luis rema desde la orilla de un río en el punto A hasta el punto B, la velocidad de la corriente a favor es de 1 km/h y emplea un tiempo de 1 h. Cuando se mueve en contra de la corriente emplea 2 h para ir del punto B al punto A. Determina la velocidad con la cual se mueve el bote en aguas tranquilas.

**1 punto** 7. Desde la terraza de una casa se lanza una pelota con una velocidad horizontal de 2 m/s. Si cae al suelo a 3,5 m de la base de la casa, ¿cuánto tiempo tarda la pelota en tocar el suelo? ¿A qué altura está la terraza?

**1 punto** 8. Un niño parado en la ventana de su casa a 3,8 m de altura lanza, con una velocidad horizontal de 2,2 m/s, un trompo a su amigo que se encuentra al frente a 3 m al pie de su casa.

- ¿Alcanza a caer el trompo a la distancia donde está el amigo?
- ¿Con qué velocidad debe lanzar el trompo para que llegue hasta su amigo?

**1 punto** 9. Dibuja la trayectoria seguida por un proyectil que se lanza de tal manera que su velocidad forma un ángulo de 37° con la horizontal. Dibuja sobre ella el vector velocidad en el punto de salida, en el punto más alto y en el punto más bajo de la trayectoria. En los mismos puntos. Dibuja el vector aceleración.

## Coevaluación

Lee la situación y resuélvela. Luego, intercambia tu trabajo con un compañero y verifiquen las respuestas que obtuvieron.

Un cuerpo se somete al mismo tiempo a la acción de dos velocidades de diferente norma. ¿Cómo deben ser las direcciones de estas dos velocidades para que el cuerpo se mueva con la máxima velocidad resultante posible? ¿Por qué?

## Autoevaluación (Metacognición)

Con un ejemplo, indica qué representa la altura máxima y el alcance máximo en el movimiento de proyectiles.

# Evaluación del primer quimestre

**Indicador esencial de evaluación:** Describe y dimensiona la importancia de la Física en la vida diaria.

**0,5 puntos** 1. ¿Crees que la siguiente afirmación es verdadera?, explica con un ejemplo.

La física utiliza los sentidos, los instrumentos de medición y la observación en su proceso de búsqueda del por qué y el cómo suceden los fenómenos naturales.

**Indicador esencial de evaluación:** Vincula a la Física con otras ciencias experimentales.

**0,5 puntos** 2. ¿Cuál es la importancia de la matemática para abordar situaciones propias de la física?

**Indicador esencial de evaluación:** Integra la teoría de errores en la realización de mediciones.

**1 punto** 3. En la práctica de laboratorio de instrumentos de medición, el profesor solicita a cada integrante de los diferentes grupos medir la longitud de un tornillo utilizando el calibrador. Los resultados obtenidos por un grupo son los siguientes: 0,97 cm; 0,965 cm; 0,975 cm; 0,96 cm y 0,985 cm, determina:

- La longitud promedio del tornillo.
- El error absoluto de la medición.
- El resultado de la medición del tornillo y el error relativo.

**Indicador esencial de evaluación:** Identifica una magnitud vectorial y realiza los procedimientos para su manejo.

**1 punto** 4. Explica por qué las siguientes afirmaciones son verdaderas.

- Toda magnitud vectorial tiene módulo y dirección.
- El módulo de un vector representa la longitud del vector.
- La distancia recorrida por un cuerpo es una magnitud escalar.
- La dirección de un vector está determinada por la recta que lo representa.

**Indicador esencial de evaluación:** Detecta la existencia de aceleración en un movimiento y resuelve ejercicios relacionados, aplicando las ecuaciones respectivas.

**1 punto** 6. De los siguientes movimientos observados durante un mismo intervalo de tiempo, ¿cuál tiene mayor aceleración y por qué?

- Un ciclista cuya rapidez pasa de 25 m/s a 45 m/s.
- Un automóvil que parte del reposo y alcanza una velocidad de 72 km/h.

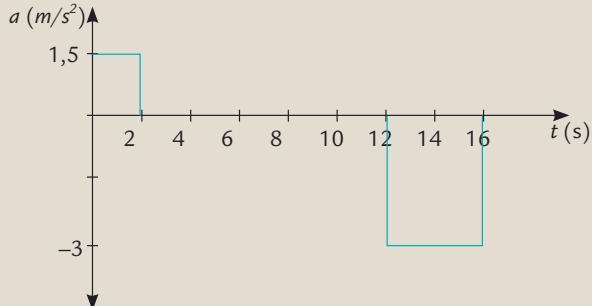
**Indicador esencial de evaluación:** Describe el efecto de la resistencia del aire sobre el movimiento de un objeto.

**0,5 puntos** 7. ¿Por qué, si todos los cuerpos caen con la misma aceleración, al dejar caer desde la misma altura una piedra y una pluma, llega antes al suelo uno de ellos?

**Indicador esencial de evaluación:** Analiza y diseña gráficas de movimiento, incluyendo el uso de pendientes y áreas.

**2 puntos** 8. La gráfica de aceleración-tiempo corresponde al movimiento de una esfera que parte del reposo y se mueve por un plano horizontal.

- Construye la gráfica de velocidad-tiempo para el movimiento.
- ¿Cuál es la velocidad máxima que alcanza la esfera y en qué instante de tiempo la alcanza?



**Indicador esencial de evaluación:** Establece desplazamiento, distancia, velocidad, rapidez y aceleración en movimiento bidimensional.

**1 punto** 9. Un atleta recorre 1,5 km al oeste y luego 3 km al sur. Si el recorrido total lo realiza en 50 min:

- ¿Con qué rapidez media se mueve el atleta?
- ¿Cuál es el módulo y dirección de su velocidad media?

**Indicador esencial de evaluación:** Reconoce velocidad y aceleración en el eje horizontal (x) y vertical (y) de un objeto que describe movimiento compuesto.

**0,5 puntos** 10. Una avioneta se dirige hacia el aeropuerto por el este con una velocidad de 250 km/h. Si se presenta un fuerte viento que tiene una velocidad de 55 km/h a N 45° O:

- ¿Cuál es la velocidad de la avioneta?
- ¿Hacia qué dirección debe orientarse la avioneta para llegar al aeropuerto y no desviarse?

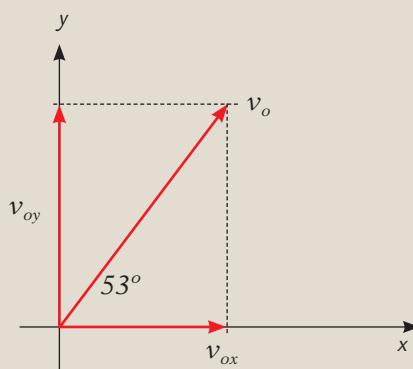
**Indicador esencial de evaluación:** Gráfica y rotula vectores de magnitudes cinemáticas sobre la trayectoria descrita.

**1 punto** 11. Un objeto se lanza con una velocidad de 5 m/s, formando con la horizontal un ángulo de 53°, determina:

- Las componentes  $v_{ox}$  y  $v_{oy}$  de la velocidad inicial.
- Registra en una tabla como la siguiente las componentes de la velocidad y los valores de  $x$  y  $y$ , de 0,1 s en 0,1 s para intervalo de tiempo entre 0 s y 0,9 s.

$t$ (s)	$v_x$ ( $m/s^2$ )	$v_y$ ( $m/s^2$ )	$x$ (m)	$y$ (m)
0,0	3	4	0	0
0,1	3	3	0,3	0,35

- Dibuja la trayectoria que representa el vector velocidad y sus componentes en el punto de partida, en el punto más alto y al cabo de 0,6 s.



**Indicador esencial de evaluación:** Determina las coordenadas de un proyectil en un tiempo dado, la altura y alcance máximos conocidos, la velocidad y el ángulo de lanzamiento.

**1 punto** 12. Desde la cima de una montaña a 75 m del suelo se dispara un proyectil con una velocidad de 140 m/s y un ángulo de elevación de 35°. ¿Cuál es la altura máxima que alcanza la bala por encima del suelo?

**Ciencia, tecnología e innovación.**

Es importante generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos, al mismo tiempo desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del Buen Vivir.

## Recursos ilimitados: cohetes, misiles y la exploración espacial

El ser humano siempre ha necesitado recursos. Cuando era nómada lo que encontraba era suficiente; sin embargo, al volverse sedentario sus poblaciones crecieron, sus sociedades se volvieron más complejas y aumentaron sus necesidades y ambiciones. Se emprendieron exploraciones terrestres y marinas, poblaciones enteras fueron diezmadas.

Aún en la actualidad se emprenden guerras por recursos, y son los intereses militares, y no los científicos, los que motivan e impulsan el avance tecnológico.



© Santillana

Los primeros cohetes de la historia, inventados por los chinos gracias a su conocimiento de la pólvora, fueron usados para fuegos artificiales.

### Desde los primeros cohetes hasta la exploración espacial



© Santillana

El avance en los mecanismos de propulsión y el desarrollo de nuevos combustibles ha permitido generar fuerzas suficientes como para vencer a la gravedad.

Los cohetes son máquinas diseñadas para convertir la energía de la combustión de algún combustible en energía mecánica. Poco después de su invención se hizo evidente su gran potencial militar. Los primeros, con poco poder destructivo, consistían en objetos masivos propulsados por la explosión de pólvora. Posteriormente, se fueron desarrollando para lograr mayor alcance, precisión y poder explosivo, y con el fin de la Segunda Guerra Mundial, cuando Hiroshima y Nagasaki fueron destruidas por bombas atómicas, adquirieron una imagen terrorífica: su poder aumentaba 20 mil veces. Tras el final de la guerra los militares, especialmente en los Estados Unidos y la antigua Unión Soviética, ofrecieron mayor apoyo a la investigación. Desarrollaron cohetes con velocidades cercanas a la necesaria para sacarlos de la atmósfera como el Thor y el Júpiter, con alcance de entre 2 000 y 3 000 km, y el Atlas con alcance de 8 000 km, capaces de alcanzar cualquier punto de la Tierra por lo que fueron llamados misiles balísticos intercontinentales.

Estos cohetes fueron adaptados para usos científicos, y por primera vez se emprendieron estudios de la alta atmósfera. Con el aumento de su alcance y la creciente necesidad de realizar estudios a gran escala de los océanos, la atmósfera y el entorno del espacio terrestre, entre 1957 y 1958 se pusieron los primeros dos satélites en órbita alrededor de la Tierra: el Sputnik I y el Explorer I. Desde entonces se han sacado de la atmósfera y puesto en órbita alrededor de la Tierra muchos aparatos científicos como satélites, telescopios e incluso, estaciones completas de investigación. Los más pequeños, como el satélite que se encarga de monitorear los fenómenos climáticos del Niño y la Niña en el Pacífico ecuatorial, y los nanosatélites disparados desde submarinos nucleares para el monitoreo de pequeños transmisores puestos en animales y automóviles, son enviados ensamblados al espacio. Los más grandes, como el radiotelescopio Hubble y la Estación Espacial Internacional, son enviados por partes al espacio y ensamblados allí.



© Santillana

Con los radiotelescopios como el Hubble se han obtenido imágenes sorprendentes del espacio que han ampliado nuestro conocimiento de la Tierra y del Universo.



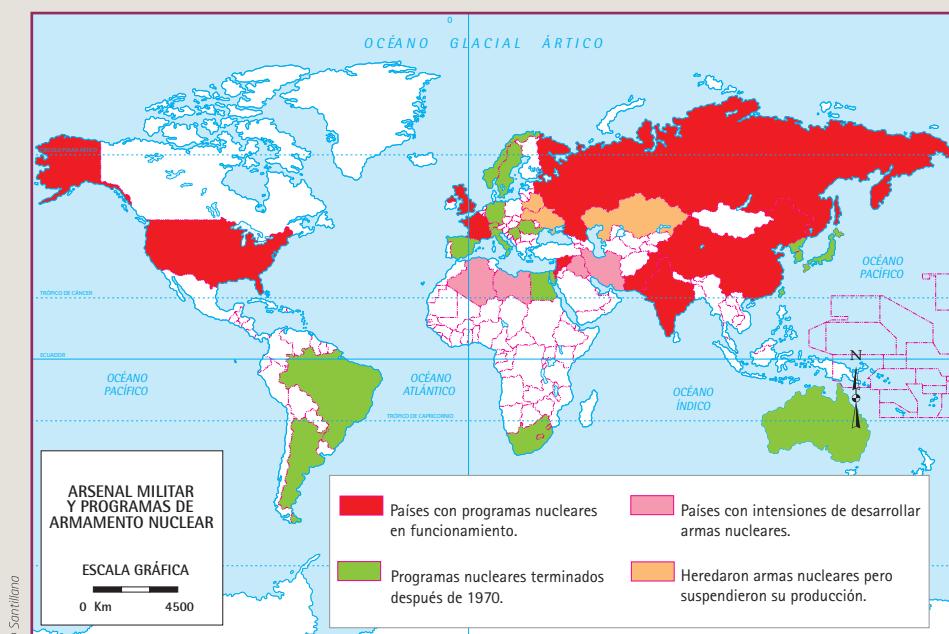
## Los misiles teledirigidos

Los misiles teledirigidos son proyectiles guiados hacia un blanco mediante sistemas de guía que dependen del tipo de misil y del objetivo: unos perciben su trayectoria en relación a un blanco fijo, otros usan sensores más activos para dirigirse hacia un blanco en movimiento. Están cargados con explosivos diseñados para misiones específicas como la penetración de blindajes o la destrucción de áreas urbanas, cuentan con mecanismos de propulsión de múltiples etapas y varían desde los grandes misiles estratégicos nucleares, hasta los pequeños cohetes portátiles. Según la ubicación del lanzamiento y del blanco se clasifican como misiles de superficie-superficie, superficie-aire, aire-superficie y aire-aire.

Los misiles superficie-superficie abarcan desde cohetes portátiles antitanque, hasta grandes misiles con la fuerza y precisión suficientes para destruir blancos estratégicos como aeropuertos o puntos de suministro a cientos o miles de kilómetros. Pueden ser lanzados desde plataformas fijas o móviles (tanques, aviones, submarinos, etc.), y muchos tienen la capacidad de transportar varias cabezas nucleares y atacar blancos diferentes.

Los diseñados contra embarcaciones se mueven a pocos metros sobre el mar, cuando localizan el objetivo ascienden, realizan maniobras de elusión y se lanzan contra su objetivo. Los terrestres se mueven a baja altura para evitar ser detectados, y están guiados por un sistema de navegación interno que se acopla a la topografía del terreno.

Los misiles aire-aire y aire-superficie, son pequeños, ligeros, rápidos y de corto alcance. Están dotados de sofisticados sistemas internos de radar o rayos infrarrojos que les permiten guiarse hacia su objetivo. Los misiles superficie-aire fueron desarrollados para proteger áreas estratégicas de bombarderos volando a gran altura. Actualmente, son de menor alcance pero tienen la capacidad táctica de cubrir áreas superpuestas del campo de batalla donde hay tropas de los dos ejércitos, y de defender pequeñas unidades terrestres y marinas. Tienen radares para localizar, rastrear y dirigirse únicamente hacia los aviones enemigos o sus misiles, y un sistema de rayos infrarrojos para ajustar el blanco.



La producción de armas nucleares está restringida, y solo los pocos países señalados en el mapa tienen la capacidad tecnológica y económica de producirlos.

### Actividades

1. ¿Por qué crees que muchos adelantos tecnológicos son logrados gracias a la investigación militar y no a la investigación científica?
2. El misil estadounidense X o MX, también conocido como Peacemaker (generador de paz), fue desarrollado y diseñado para transportar grandes cargas explosivas y lanzarse desde una plataforma móvil. ¿Qué opinas del uso de armas como mecanismo para conseguir la paz?

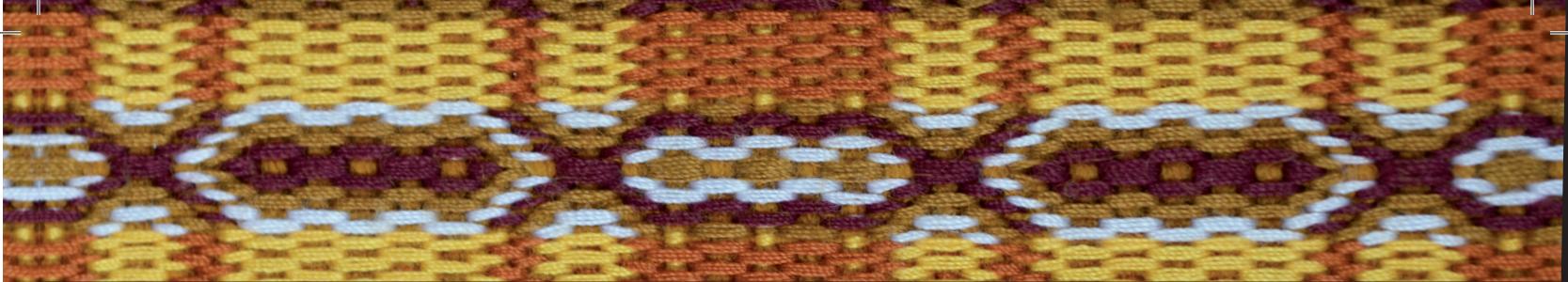
### Investiga

Consulta qué son los sistemas de posicionamiento global (GPS) y para qué sirven. ¿Cómo se relacionan con la exploración terrestre, marina y espacial, y con la evolución y el perfeccionamiento de la cartografía? ¿Y con el desarrollo tecnológico con fines bélicos?

Bloque  
**4**

## Leyes del movimiento





### Observa y analiza la imagen

- ¿Qué fuerzas hacen que las estrellas de cada galaxia giren alrededor de su centro?
- ¿Cómo se puede explicar el mecanismo utilizado para el lanzamiento de los cohetes?
- ¿Bajo qué condiciones podría un cuerpo permanecer en movimiento indefinidamente?
- ¿Cómo se relaciona la fuerza ejercida sobre el carro con la que el carro ejerce sobre la persona?

Para estudiar el movimiento de los cuerpos, consideraremos una parte de la mecánica —la dinámica— que estudia la relación existente de las interacciones entre los cuerpos y los cambios en su estado de movimiento. La palabra *dinámica* proviene del término griego *dinamos* que significa ‘fuerzas’. Las fuerzas son consideradas la causa fundamental de los movimientos, aunque el análisis de la causa de las cosas implica una discusión filosófica más profunda.

La mecánica recibió un impulso enorme con los trabajos de Isaac Newton, quien dedujo los principales elementos que rigen los fenómenos físicos y contribuyó al desarrollo del cálculo matemático para aplicarlos.

El concepto de interacción es más amplio en física que el sentido que ordinariamente le asignamos. Así, las interacciones entre los cuerpos pueden implicar contacto físico, como en un choque, un empujón o un abrazo, o pueden ser a distancia, como la atracción gravitacional de la Tierra sobre los objetos que hay en ella.

En este bloque estudiaremos las condiciones en las cuales un objeto permanece en reposo o en movimiento, así como el comportamiento de cuerpos que interactúan mutuamente.

© Santillana

### Objetivo educativo

Explicar las leyes del movimiento utilizando ejemplos de la vida diaria, y diseñar implementos que, basados en estas leyes, puedan ayudar a proteger la vida de los seres que habitamos el planeta.



© Santillana



Faja de hilo. Tejido de los pueblos indígenas de la Sierra.

© Santillana

# Dinámica de los movimientos

## Destreza con criterio de desempeño:

Relacionar el movimiento de un cuerpo con las fuerzas que actúan sobre él, a partir de la identificación e interpretación de las leyes de Newton.

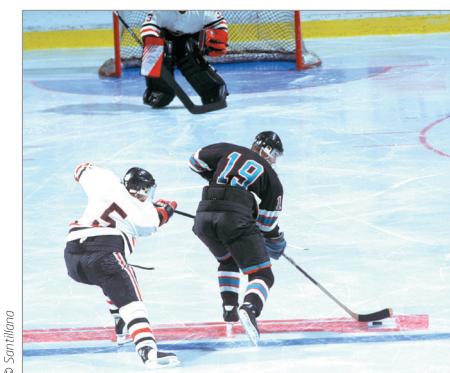


Fig. 4.1. La fuerza ejercida por el bastón hace que el disco se ponga en movimiento. La acción posterior de otras fuerzas puede hacer que se detenga o cambie de dirección.

## LAS FUERZAS Y EL MOVIMIENTO

### Conocimientos previos

En un partido de hockey sobre hielo, cuando un jugador golpea el disco detenido sobre el suelo, la acción ejercida sobre el disco hace que este se ponga en movimiento.

De igual manera, cuando un jugador recibe el disco enviado por otro compañero de equipo, puede detenerlo o desviarlo de su trayectoria, según la velocidad con la cual se mueva el disco.

¿Crees que el disco en movimiento sobre la superficie de hielo recorre una distancia mayor de la que recorrería si se deslizara sobre un suelo de césped, aun cuando se aplicara el mismo impulso?

### CAMBIOS DE MOVIMIENTO

En el caso del disco de hockey (fig. 4.1), tanto al golpearlo para ponerlo en movimiento como al detenerlo o desviarlo, se ejerce una acción sobre él. Esta acción se llama **fuerza**. Cuando el disco está en movimiento, el suelo sobre el que se desplaza ejerce una fuerza de rozamiento, que se opone al movimiento, por lo que su efecto se manifiesta en una disminución en la velocidad del móvil hasta que este se detiene.

Como el rozamiento producido por el hielo es menor que el producido, por ejemplo, por el césped, al aplicar inicialmente a un cuerpo la misma fuerza, el cuerpo recorre hasta detenerse una distancia mayor sobre hielo (superficie lisa) que sobre césped (superficie rugosa).

Cuando no existen fuerzas o la suma de todas las fuerzas es cero, un cuerpo está en reposo o con movimiento rectilíneo uniforme. El instante en que actúa una fuerza estos dos estados se altera, es decir: si está en reposo, comienza a moverse, y si está con movimiento rectilíneo uniforme, puede cambiar a curvilíneo y se acelera el cuerpo.

La dinámica es la parte de la física que estudia el movimiento en función de las causas que condicionan un tipo de movimiento, es decir, en función de las fuerzas.

La dinámica se fundamenta en tres leyes o principios, enunciados por Isaac Newton en el siglo XVII y que se conocen como: *el principio de inercia, el principio fundamental de la dinámica y el principio de acción y reacción*.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS FUERZAS

### FUERZA NETA

Todo lo que nos rodea está afectado por alguna fuerza. Por ejemplo, la fuerza de la gravedad actúa en todo instante sobre nuestro cuerpo, sobre nuestros objetos personales, sobre todo lo que está a nuestro alrededor.

Es importante identificar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. En ocasiones, las fuerzas que actúan sobre un cuerpo se contrarrestan entre sí, y dan la impresión de no estar presentes. En estos casos se dice que las fuerzas se anulan entre sí.

Para que un cuerpo inicialmente en reposo se ponga en movimiento, se requiere que las fuerzas no se anulen entre sí. Por ejemplo, cuando un automóvil se encuentra estacionado, las fuerzas que actúan sobre él se anulan entre sí, pero cuando el vehículo experimenta la fuerza ejercida por el motor, se pone en movimiento.

Al igual que el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, las fuerzas son vectores. Por esta razón, se pueden sumar como se muestra en la (fig. 4.2). La **fuerza neta** es la suma de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.

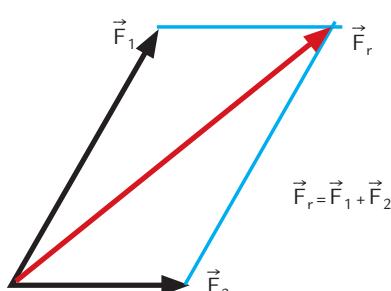


Fig. 4.2. En la fuerza neta como resultado de la suma de fuerzas.



Fig. 4.3. Las fuerzas producen deformaciones.



Fig. 4.4. Los efectos de las fuerzas dependen del punto de aplicación.

## EFFECTOS DE LAS FUERZAS

Además de provocar cambios en el estado de movimiento de los cuerpos, las fuerzas pueden también ocasionar deformaciones en ciertos materiales y objetos. Por ejemplo, si se aplica una fuerza a un resorte en uno de sus extremos, este se deforma, aumentando su longitud (fig. 4.3). En este caso, la deformación causada al resorte depende del punto en el cual se aplica la fuerza. Así, la longitud de la deformación no es la misma si colgamos una pesa de uno de los extremos del resorte, que si la colgamos de su punto medio (fig. 4.4).

**Una fuerza es toda acción que puede cambiar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo o bien producir deformaciones sobre él.**

Las fuerzas tienen carácter vectorial. Así, no es igual el efecto que produce sobre un cuerpo una fuerza dirigida hacia arriba que otra, de la misma intensidad, pero dirigida hacia abajo. Por este motivo, las fuerzas se representan mediante vectores, con las características propias de éstos, como son: punto de aplicación, dirección, sentido y módulo, según se muestra en la (fig. 4.5).

## UNIDADES DE FUERZA

El módulo de un vector fuerza se mide en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.) en **newtons** (N). Un newton equivale a la fuerza que hay que ejercer sobre un cuerpo de 1 kg de masa, para causar en este una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$ . Otra unidad de uso común es el gramo-fuerza (g-f), que expresa la cantidad de fuerza necesaria para sostener un objeto de 1 g de masa. 1 N equivale a  $10^2$  g-f.

En los países donde se emplea el sistema inglés de medidas, la fuerza se mide en libras y constituye una magnitud fundamental, de la cual se derivan otras como la masa. Una libra equivale a la fuerza necesaria para producir una aceleración de  $1 \text{ pie/s}^2$  en un cuerpo patrón, cuya masa equivale a 32,2 libras. Una libra es igual a 4,45 newtons.

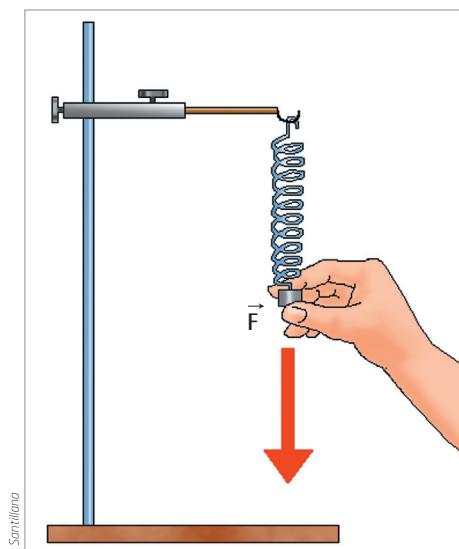
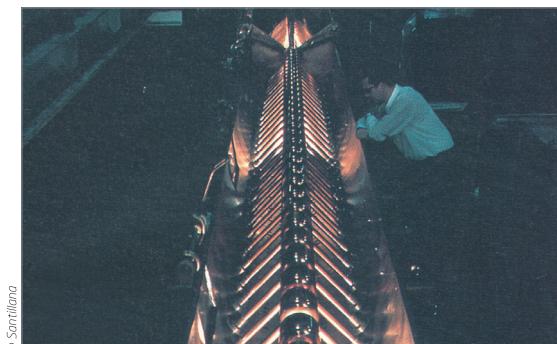


Fig. 4.5. Las fuerzas se representan mediante vectores, pues tienen intensidad, dada por el módulo, la dirección y el sentido.

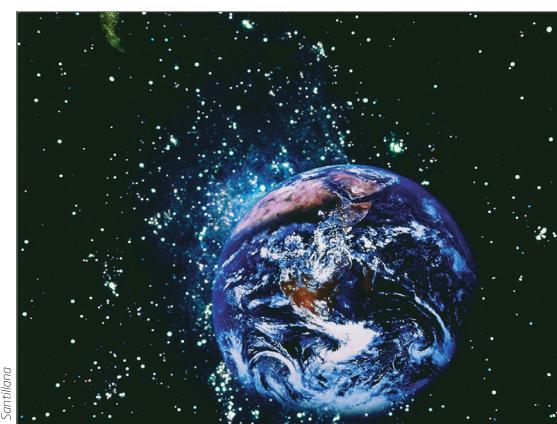
**Destreza con criterio de desempeño:**

Analizar reflexivamente algunas aplicaciones y consecuencias de las leyes de Newton, con base en la descripción de situaciones cotidianas que involucran la existencia de fuerzas.



© Santillana

Fig. 4.6. Es posible observar los efectos de las fuerzas nucleares en dispositivos como los aceleradores de partículas subatómicas.



© Santillana

Fig. 4.7. Las cuatro fuerzas de la naturaleza explican gran parte de los fenómenos físicos, no solo en nuestro planeta sino también en el espacio exterior.

### **T** Tarea

Plantea ejemplos en los cuales se ilustre la interacción gravitacional entre dos cuerpos y otros en donde se muestre la interacción eléctrica entre dos cuerpos.

### **I** Investiga

Averigua por qué el descubrimiento de los neutrinos ha reforzado la idea de la Gran Explosión (Big Bang) como explicación al origen del universo.

## FUERZAS DE LA NATURALEZA

A principios del siglo XX se conocían dos tipos de fuerza a distancia: las **fuerzas gravitacionales**, de atracción entre masas y las **fuerzas electromagnéticas**, de atracción o repulsión entre cargas eléctricas. El Sol, por ejemplo, atrae a la Tierra al ejercer sobre ella una fuerza gravitacional, lo cual muestra que estas fuerzas actúan a gran distancia.

Un ejemplo de interacción electromagnética es la que ejerce la Tierra sobre la aguja de una brújula y hace que esta se oriente hacia el norte geográfico.

Los importantes estudios que se hicieron en física atómica y nuclear durante el primer tercio del siglo XX condujeron al descubrimiento de otros dos tipos de fuerzas a distancia: las **fuerzas nucleares fuertes** y las **fuerzas nucleares débiles**, las cuales solo operan a pequeñas distancias y nuestros sentidos no alcanzan a percibirlas. Estas fuerzas son las que mantienen unidas las partículas elementales que conforman el universo (fig. 4.6).

El descubrimiento del núcleo atómico y de las partículas que lo conforman hizo que los científicos se formularan la siguiente pregunta: ¿cómo es posible que el núcleo atómico, conformado por protones que se repelen entre sí, no se desintegre?

La respuesta a esta pregunta la dio el físico **Hideki Yukawa**, quien en 1935 propuso la existencia de una fuerza de atracción muy intensa, a la que denominó *fuerza nuclear fuerte*, que solo se manifestaría en el núcleo atómico y cuyo efecto sería vencer la repulsión de los protones.

Experimentos posteriores demostraron la existencia de esta fuerza, cuya intensidad es 10 veces superior a la fuerza electromagnética de repulsión entre protones. No obstante, a una distancia mayor que  $1,5 \cdot 10^{-14}$  m, la fuerza nuclear fuerte es mucho menor que la repulsión electromagnética y entonces las cargas se repelen.

La fuerza nuclear débil, descubierta poco después, es la responsable de la desintegración de muchos núcleos radiactivos y de muchas partículas inestables, así como de todas las interacciones en las que intervienen las partículas denominadas *neutrinos*.

En la actualidad se cree que estas cuatro fuerzas son casos particulares de una misma fuerza que se manifiesta de forma diferente según las condiciones. De hecho, hace poco, se demostró que la fuerza nuclear débil y la fuerza electromagnética se comportan de manera similar cuando la temperatura es muy baja, y no se descarta que algún día podamos hablar de una única fuerza: la **fuerza unificada o superfuerza** (fig. 4.7).

## CÓMO SE MIDEN LAS FUERZAS

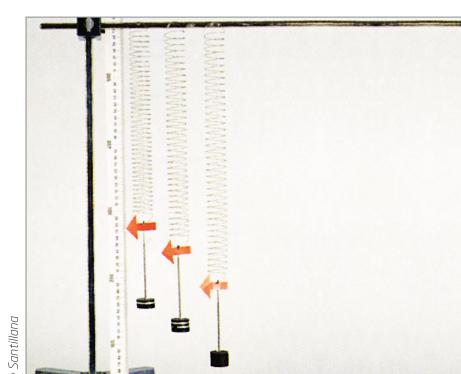
El **dinamómetro** es un instrumento de medida que se utiliza para determinar la intensidad de las fuerzas.

El funcionamiento del dinamómetro se basa en las propiedades elásticas que tienen determinados materiales al ser deformados por la acción de una fuerza. La forma más sencilla de construir un dinamómetro es introduciendo un resorte en el interior de un tubo cilíndrico (fig. 4.8).



© Santillana

Fig. 4.8. El dinamómetro.



© Santillana

Fig. 4.9. Estudio de la deformación de un resorte.

El fundamento teórico del dinamómetro es el siguiente. Supongamos que se cuelgan sucesivamente del extremo libre de un resorte varias pesas y se anotan los alargamientos que se producen en él, esto es la variación de la longitud con respecto a la posición del extremo libre cuando no hay ninguna pesa colgando (fig. 4.9). En la tabla de la (fig. 4.10) se muestran los datos obtenidos en un experimento como este. Al calcular el cociente entre las fuerzas aplicadas y el alargamiento que cada una produce en el resorte, podemos comprobar que dicho cociente siempre toma el mismo valor, es decir, es constante.

Si representamos gráficamente los resultados obtenidos, colocando la intensidad de las fuerzas en el eje vertical y la longitud de los alargamientos del resorte en el eje horizontal, obtenemos una recta cuya pendiente es igual a la constante obtenida al realizar los cocientes anteriores (fig. 4.11).

Del análisis de los datos, tanto a partir de la tabla como de la gráfica, se llega a la conclusión de que las fuerzas ( $F$ ) están relacionadas con los alargamientos ( $x$ ). Esta relación queda enunciada en la expresión:

$$\frac{F}{x} = k$$

donde  $k$  recibe el nombre de **constante elástica del resorte** y coincide con el cociente entre cada fuerza y el respectivo alargamiento.

Si repitiéramos esta experiencia con diferentes resortes, llegaríamos a una relación como la anterior, en la que el valor de  $k$  sería distinto para cada uno, es decir, que la constante elástica depende de las características del resorte.

Esto nos permite enunciar la ley que rige las deformaciones elásticas, según la expresión matemática:

$$F = k \cdot x$$

publicada en el siglo XVII por el físico inglés **Robert Hooke** (1635-1703) y conocida como la ley de Hooke. Según esta ley, podemos afirmar que **la longitud de la deformación producida por una fuerza es proporcional a la intensidad de dicha fuerza**.

Observa que la constante elástica,  $k$ , de un resorte se mide en newtonmetro ( $N/m$ ). Así, si la constante de un resorte es de 1 000  $N/m$ , significa que para alargar dicho resorte un metro es necesario ejercer sobre él una fuerza de 1 000  $N$ .

Fuerza (N)	Alargamiento (cm)	Cociente (N/cm)
5	1	5
7,5	1,5	5
10	2	5
12,5	2,5	5
15	3	5
17,5	3,5	5
20	4	5
22,5	4,5	5
25	5	5

Fig. 4.10. Tabla de valores de la deformación de un resorte.

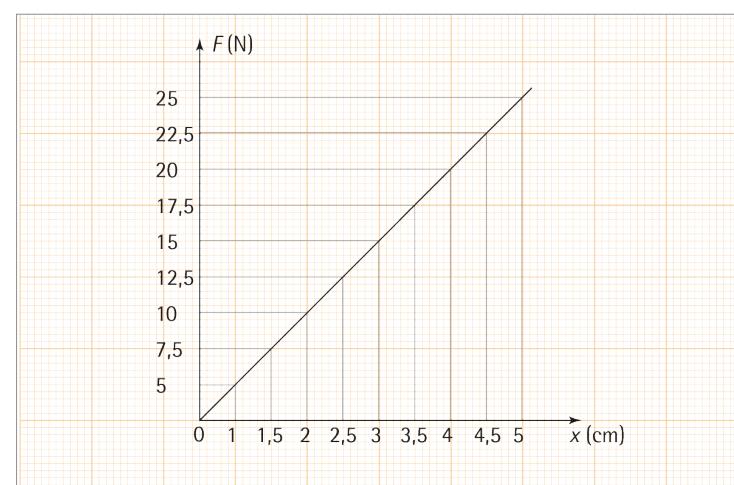


Fig. 4.11. Gráfica de la fuerza contra alargamiento de un resorte.

## Ejemplos

1. Se ejerce una fuerza de 300 N sobre un resorte cuya longitud es 30 cm y se observa que la longitud del resorte alcanza un valor de 35 cm. Determinar:

- La constante elástica del resorte.
- El alargamiento si se aplica una fuerza de 400 N.
- La fuerza que se debe aplicar para que el alargamiento sea de 9 cm.
- El valor de la constante del resorte si sobre el mismo resorte se aplica una fuerza de 400 N.

### Solución

- El alargamiento del resorte es:

Para determinar  $k$ , utilizamos la ecuación:

$$x = 0,35m - 0,30m = 0,05m$$

$$F = k \cdot x$$

$$k = \frac{F}{x} \quad \text{Al despejar}$$

$$k = \frac{300 \text{ N}}{0,05 \text{ m}} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$k = 6\,000 \text{ N/m}$$

La constante elástica del resorte es 6 000 N/m.

- Para calcular el alargamiento despejamos  $x$  de la ecuación  $F = k \cdot x$ , así:

$$x = \frac{F}{k} \quad \text{Al despejar}$$

$$x = \frac{400 \text{ N}}{6\,000 \text{ N/m}} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$x = 0,067 \text{ m}$$

Cuando se aplica una fuerza de 400 N, el alargamiento es 6,7 cm.

- Si el alargamiento es de 9 cm, se tiene que:

$$F = k \cdot x$$

$$F = 6\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,09 \text{ m} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$F = 540 \text{ N} \quad \text{Al calcular}$$

La fuerza aplicada sobre el resorte para que el alargamiento sea 9 cm es 540 N.

- El valor de la constante del resorte es 6 000 N/m, puesto que este valor es propio del resorte.

2. Tres pasajeros, con una masa total de 210 kg, suben a un vehículo de 1 100 kg comprimiendo los muelles de este 3 cm. Considerando que los muelles actúan como un solo resorte, calcular:

- La constante elástica de los muelles del vehículo si la fuerza aplicada por los tres pasajeros es 2 058 N.
- La longitud,  $x$ , que baja el vehículo si la fuerza aplicada es de 2 744 N.
- La fuerza que se debe aplicar al vehículo para que descienda 6 cm.

### Solución

- Para determinar  $k$ , utilizamos la ecuación:

$$F = k \cdot x$$

$$k = \frac{F}{x} \quad \text{Al despejar}$$

$$k = \frac{2\,058 \text{ N}}{0,03 \text{ m}} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$k = 68\,600 \text{ N/m} \quad \text{Al calcular}$$

La constante elástica de los muelles del vehículo es 68 600 N/m.

- Para calcular la longitud que baja del vehículo despejamos  $x$  de la ecuación  $F = k \cdot x$ , así:

$$x = \frac{F}{k}$$

$$x = \frac{2\,744 \text{ N}}{68\,600 \text{ N/m}} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$x = 0,04 \text{ m} \quad \text{Al calcular}$$

Cuando se aplica una fuerza de 2 744 N al vehículo, este desciende 4 cm.

- Para que el vehículo descienda 6 cm, se tiene que:

$$F = k \cdot x$$

$$F = 68\,600 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,06 \text{ m} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$F = 4\,116 \text{ N} \quad \text{Al calcular}$$

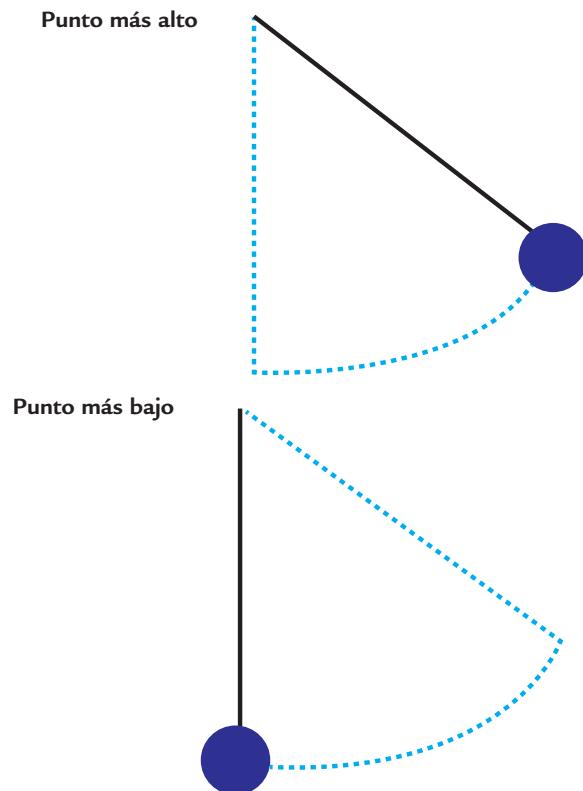
La fuerza aplicada sobre el vehículo para que descienda 6 cm es de 4 116 N.



## Actividades

Reconoce las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.

1. Dibuja las fuerzas que actúan sobre la masa de un péndulo cuando se encuentra en el punto más alto de su trayectoria, así como la resultante de todas ellas. ¿Existe algún punto en la trayectoria del péndulo en el que este se encuentre en equilibrio? En caso afirmativo, indica dicho punto y explica por qué está equilibrado.

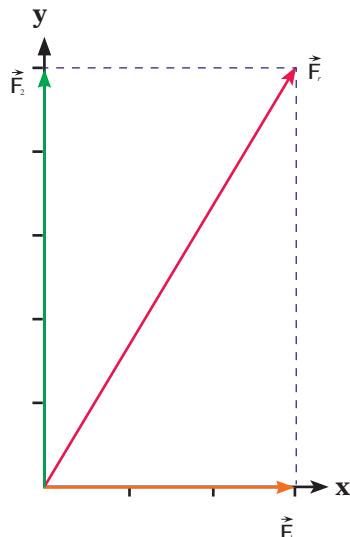


2. Una caja descansa sobre un suelo horizontal de cemento.

- ¿Hace falta aplicar una fuerza para ponerla en movimiento? ¿Y para deslizarla en línea recta a velocidad constante?
- Dibuja la gráfica v-t correspondiente a estas acciones.

3. Una pelota rueda a velocidad constante y en línea recta por un tejado inclinado y, al llegar a su borde, se precipita en el vacío describiendo un movimiento parabólico. Analiza las fuerzas que actúan en la mitad del recorrido, e indica la fuerza resultante.

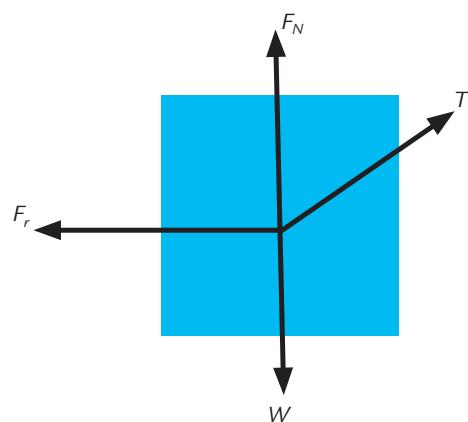
4. Calcula la fuerza resultante de la suma de las fuerzas  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$ . Si  $\vec{F}_1 = (0,3)$  y  $\vec{F}_2 = (5,0)$



## L Lección

Reconoce las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y las dibuja usando diagramas de cuerpo libre.

- Construye el diagrama de fuerzas que actúan sobre tu cuerpo cuando estás de pie sobre el suelo.
- Responde: ¿Cuál debe ser el valor de  $F_N$  en la figura para que el sistema esté en equilibrio? ¿Por qué?



# Primera ley de Newton

## Destrezas con criterio de desempeño:

- Analizar reflexivamente algunas aplicaciones y consecuencias de las leyes de Newton, con base en la descripción de situaciones cotidianas que involucran la existencia de fuerzas.
- Identificar cada una de las fuerzas presentes sobre un cuerpo en problemáticas diversas, a partir de la realización del diagrama de cuerpo libre.



© Santillana

Fig. 4.12. Sobre el astronauta no actúan fuerzas que cambien su estado de movimiento.

## Recuerda

La palabra *inercia* significa ‘tendencia a evitar un cambio en el estado de movimiento’.



Fig. 4.13. En las mesas de aire, se pone un disco sobre una superficie con agujeros por los que se expulsa aire, con lo cual se disminuye la fuerza de contacto y se permite un libre desplazamiento del disco sobre la mesa.

## EL PRINCIPIO DE INERCIA

### Conocimientos previos

Si un astronauta se encuentra en el espacio, lejos de la Tierra y de su nave como el de la figura 4.12, y si se mueve con velocidad constante, nada lo aceleraría hacia delante, ni lo frenaría, ni lo desviaría hacia un lado.

¿Crees que no experimenta fuerzas que provocaran una alteración en su estado de movimiento incluso si se encuentra en estado de reposo?

El principio de inercia de Galileo, sostiene que un cuerpo que se mueve en una superficie plana seguirá desplazándose en la misma dirección con velocidad constante, si nada lo perturba. Por lo tanto, la palabra *inercia* significa ‘tendencia a evitar un cambio en el estado de movimiento’.

Según la formulación de Newton acerca de este tema, todos los cuerpos, debido a la presencia de otros cuerpos alrededor, están sometidos continuamente a algún tipo de fuerza, ya sea esta de interacción a distancia o de contacto.

En el ejemplo del astronauta, este no experimentaría fuerzas que provocaran una alteración en su estado de movimiento o de reposo y, por consiguiente, el astronauta permanecería en el mismo estado.

En la primera ley, denominada el **principio de inercia**, Newton establece la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el tipo de movimiento que dicho cuerpo experimenta.

**Todo cuerpo permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme si no actúa ninguna fuerza sobre él o si la suma de todas las fuerzas que actúan sobre él (fuerza neta) es nula (fig. 4.13).**

La primera conclusión de este principio es que sobre un cuerpo en reposo no actúa ninguna fuerza o que las fuerzas presentes se anulan. La segunda conclusión del principio de inercia, según la cual sobre un cuerpo con movimiento rectilíneo uniforme no actúa fuerza alguna o que la fuerza neta es nula, no es tan evidente. Un cuerpo que se desliza sobre una superficie con movimiento rectilíneo, tarde o temprano, termina por detenerse. Este hecho se debe a la fuerza de rozamiento que le ofrece la superficie. Si esta fuerza no actuara, los cuerpos en movimiento rectilíneo uniforme continuarían indefinidamente en ese estado.

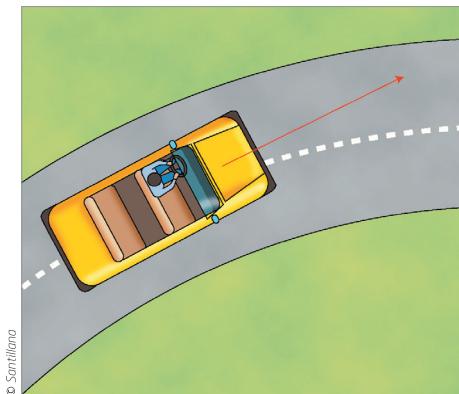
Si la fuerza de rozamiento es mínima, un ligero empujón es suficiente para iniciar el movimiento, el cual se prolongará por largo tiempo, antes de cesar.

Por ejemplo, cuando se patina sobre el hielo, al disminuir la fuerza de rozamiento considerablemente se tienden a permanecer en movimiento más tiempo.

## SISTEMAS DE REFERENCIA INERCIALES

En la vida cotidiana tenemos, con frecuencia, experiencias que aparentemente contradicen la primera ley de Newton.

Imagina a un pasajero que viaja en un automóvil a velocidad constante por una carretera rectilínea. Si la carretera no tiene imperfecciones en su superficie, el pasajero puede tener la impresión de estar en reposo y, de hecho, lo está, con respecto al sistema de referencia del automóvil. Ahora bien, si el automóvil frena bruscamente, el ocupante experimentará la tendencia a salir despedido hacia adelante, con lo cual verá modificada su estado de reposo, sin que aparentemente se haya ejercido sobre él una fuerza que explique este cambio. Según el principio de inercia, esto no es posible.



© Santillana

Fig. 4.14. Cuando un automóvil entra en una curva, los objetos que hay en su interior tienden a seguir en línea recta.

La explicación de este fenómeno se basa en que, dependiendo del punto de observación escogido, un mismo hecho puede interpretarse de diferentes maneras. Así, una persona que observe la situación descrita desde la carretera tendrá una impresión distinta de la que tiene el pasajero dentro del vehículo. En efecto, para esta persona, el pasajero se encontraba inicialmente en movimiento rectilíneo uniforme. Según el principio de inercia, debería seguir así a menos que actuaran fuerzas sobre él. Y esto es precisamente lo que ocurre cuando el automóvil frena o entra en una curva cerrada (fig. 4.14).

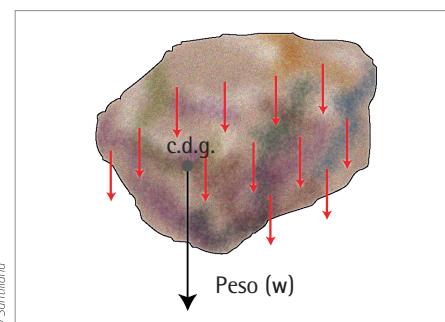
En resumen, el principio de inercia se cumple en este caso para el sistema de referencia delimitado por la carretera, con respecto a la cual se desplaza el sistema de referencia vehículo-pasajero.

Definimos entonces un **sistema de referencia inercial como aquel en el cual es válido el principio de inercia**. Así mismo, cualquier sistema de referencia que se mueva con velocidad constante con respecto a un sistema de referencia inercial es considerado también como un sistema inercial.

El principio de inercia es válido tanto para sistemas en reposo, como para sistemas con movimiento rectilíneo uniforme.

Volviendo al sistema de referencia del vehículo que frena bruscamente, notemos que el movimiento que experimenta el pasajero es consecuencia del cambio en la velocidad del auto y no de una fuerza real. Este tipo de fuerzas aparentes, que actúan en sistemas de referencia no iniciales, se denominan **fuerzas ficticias** o de **inercia**.

Los sistemas iniciales son abstracciones mentales cuyo propósito es facilitar la interpretación y explicación de fenómenos, pues la realidad es mucho más compleja. Por ejemplo, aún cuando nuestro sistema de referencia habitual es la superficie de la Tierra, sabemos que el planeta está girando sobre su eje, mientras este da vueltas alrededor del Sol. Todos estos movimiento no se llevan a cabo con velocidad constante. No obstante, la variación en la velocidad de la Tierra es tan pequeña que en la práctica puede tomarse como un sistema de referencia inercial.



© Santillana

Fig. 4.15. El centro de gravedad es el punto de aplicación del peso y éste se representa con una flecha dirigida hacia el centro de la Tierra.

## ALGUNAS FUERZAS COMUNES

### FUERZA DE GRAVEDAD

La interacción gravitacional es una de las fuerzas básicas de la naturaleza. La Tierra ejerce atracción gravitacional sobre los objetos que se encuentran a su alrededor.

La fuerza que aplica la Tierra sobre un cuerpo se denomina **gravedad**. La masa de un cuerpo multiplicado por la gravedad da como resultado el **peso**. La dirección del peso está representada por una recta que une el cuerpo con el centro de la Tierra, con sentido hacia ella. Para un objeto colocado cerca de la superficie de la Tierra, representamos el vector **peso** hacia abajo.

Podemos considerar los cuerpos formados por una gran cantidad de pequeñas partículas, cada una de las cuales posee un peso. El peso total,  $w$ , del cuerpo será la suma de los pesos de dichas partículas. El vector **peso** actúa sobre un cuerpo en un punto llamado **centro de gravedad**. Dependiendo de la forma del cuerpo y de cómo estén distribuidas las partículas que lo conforman, el centro de gravedad se ubicará en mayor o menor medida lejos del centro geométrico de dicho cuerpo (fig. 4.15).



### Tc Trabajo cooperativo

Junto con un compañero, analiza y responde estas preguntas.

- ¿Por qué en la vida cotidiana es difícil encontrar cuerpos en movimiento sobre los que no actúan fuerzas?
- ¿Por qué se utilizan los cinturones de seguridad en los autos?

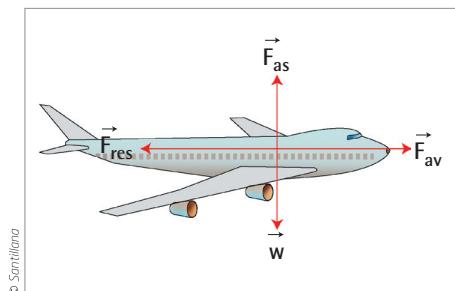


Fig. 4.16. Sobre el avión en vuelo actúan cuatro fuerzas.

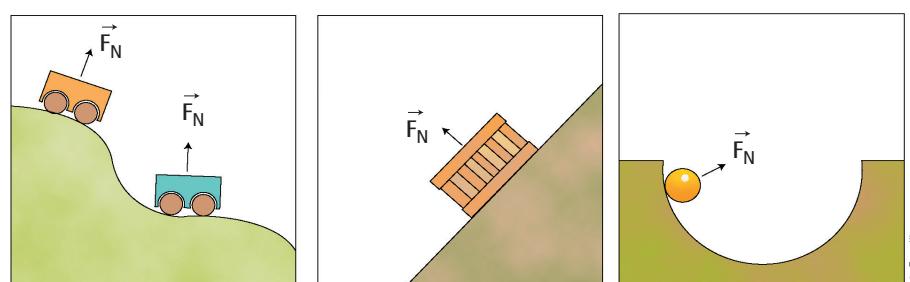


Fig. 4.17. La fuerza normal es perpendicular a la superficie sobre la que se encuentra el objeto que la experimenta.



### @TIC

Si quieres saber más sobre la primera ley de Newton, busca en la página *Física en línea* en [goo.gl/qpeIG](http://goo.gl/qpeIG)

### L Lección

Construye el diagrama de fuerzas y analiza las fuerzas que actúan sobre un objeto que es lanzado:

1. Verticalmente hacia arriba.
2. Hacia arriba con un cierto ángulo de inclinación con respecto a la horizontal.

### Ti Trabajo individual

Responde la pregunta.

¿Por qué podemos afirmar que caminamos gracias a la fuerza de rozamiento?

### Ejemplo

Analiza las fuerzas que actúan sobre un avión que vuela a velocidad constante sobre la Tierra.

#### Solución

Considerando que la trayectoria del avión es rectilínea se representan las fuerzas que actúan sobre él, en el diagrama de la (fig. 4.16) y se describen a continuación:

- La fuerza de avance del avión ( $\vec{F}_{av}$ ), debida a la acción de los motores.
- La fuerza ascensional ( $\vec{F}_{as}$ ), debida a la acción que ejerce el aire sobre las alas del avión cuando este avanza.
- El peso ( $\vec{w}$ ) del avión.
- La fuerza de resistencia ( $\vec{F}_{res}$ ) que el aire opone al avance del avión.

De acuerdo con el principio de inercia, y dado que el avión se desplaza a velocidad constante, la fuerza neta, resultante de las cuatro fuerzas que actúan sobre él, es nula. Es decir que:

$$\vec{F}_{av} + \vec{F}_{as} + \vec{w} + \vec{F}_{res} = 0$$

En la figura 16 se observa que las fuerzas horizontales y verticales, entre sí, tienen el mismo módulo y dirección, pero se dirigen en sentido contrario. Por tanto, podemos decir que los módulos se relacionan mediante la expresión:

$$F_{av} = +F_{res} \quad F_{as} = +w$$

Que se expresa vectorialmente de la siguiente manera:

$$\vec{F}_{av} = -\vec{F}_{res} \quad \vec{F}_{as} = -\vec{w}$$

La primera ecuación indica que la fuerza de avance producida por los motores contrarresta la resistencia del aire (ambas son iguales y de sentidos contrarios, de ahí el signo menos). Por otra parte, la segunda igualdad indica que la fuerza ascensional producida por el aire compensa el peso del avión, que, de otro modo, caería atraído hacia la Tierra.

Si la velocidad del avión aumenta, se deberá a un aumento en la fuerza de avance, mientras que si la velocidad disminuye, se deberá, por ejemplo, a un aumento en la resistencia del viento sobre la máquina.

### LA FUERZA NORMAL

Un cuerpo situado sobre una superficie experimenta una fuerza ejercida por ésta. Dicha fuerza se denomina **fuerza normal** o, simplemente, **normal**. La fuerza normal ( $\vec{F}_N$ ) es perpendicular a la superficie que la ejerce (fig. 4.17).

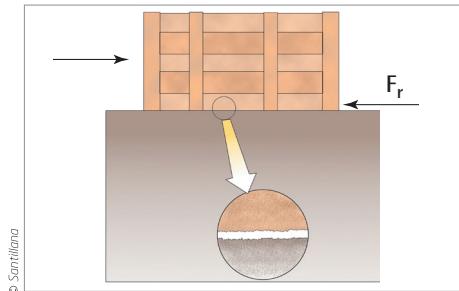


Fig. 4.18. Las irregularidades en la superficie de los cuerpos producen rozamiento.

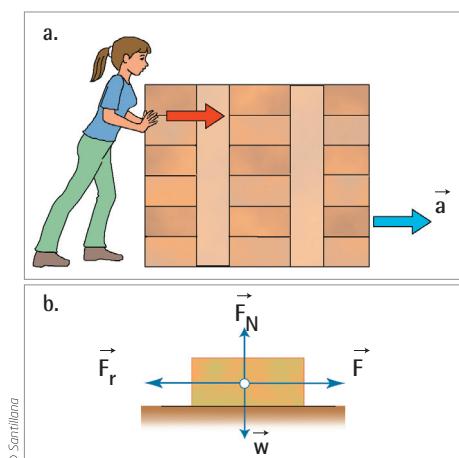


Fig. 4.19. Sobre la caja actúan cuatro fuerzas.

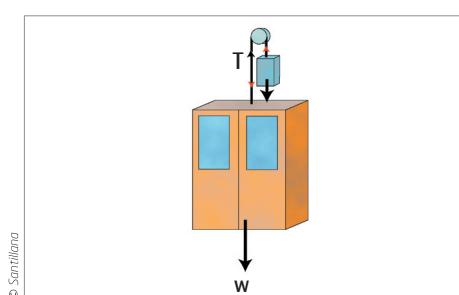


Fig. 4.20. Tensiones en el cable de un ascensor.

## Tarea

Resuelve esta actividad.

El objeto de la Figura 18a se mueve con velocidad constante y la muchacha ejerce una fuerza de 100 N.

- Dibuja las fuerzas que actúan sobre el objeto.
- Calcula la fuerza normal y la de rozamiento.

## LA FUERZA DE ROZAMIENTO

Cuando un cuerpo se desplaza sobre una superficie o cuando el cuerpo no tiene movimiento, se encuentra con cierta resistencia. Esta oposición es la **fuerza de rozamiento** ( $F_r$ ).

Cuando intentamos arrastrar un cuerpo sobre el suelo, no se consigue ponerlo en movimiento hasta que la fuerza que se aplica supera determinado valor. Este fenómeno se debe a que las superficies de contacto entre el suelo y el cuerpo que se quiere mover no son perfectamente lisas, produciendo sobre el objeto una fuerza que se opone al movimiento (fig. 4.18). La fuerza de rozamiento tiene un sentido opuesto a la dirección en la que el cuerpo se desplaza.

Las fuerzas de rozamiento disminuyen notablemente el rendimiento de ciertos mecanismos, ya que parte de la energía que consumen las máquinas se invierte en vencer el rozamiento y no en trabajo útil. Así mismo, si no existiera el rozamiento, muchos mecanismos no funcionarían. Por ejemplo, los frenos no podrían detener a los automóviles y las ruedas resbalarían sobre el asfalto, haciendo imposible poner a los vehículos en marcha nuevamente.

### Ejemplo

El objeto de la figura 4.19a se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal. El peso del objeto es 200 N y la muchacha ejerce una fuerza de 120 N sobre este. Con base en esta información:

- Dibuja las fuerzas que actúan sobre el objeto.
- Calcula el módulo de la fuerza normal y de la fuerza de rozamiento.

### Solución

- En la figura 4.19b se muestran las fuerzas que actúan sobre el objeto: el peso,  $\vec{w}$ , la fuerza de rozamiento,  $\vec{F}_r$ , la fuerza normal,  $\vec{F}_N$ , y la fuerza que ejerce la muchacha,  $\vec{F}$ .
- Puesto que el bloque se encuentra en reposo, la fuerza neta que actúa sobre el objeto es cero, en consecuencia, la suma de las fuerzas verticales y horizontales es cero:  
$$\vec{F} - \vec{F}_r = 0$$
, luego  $120 \text{ N} - \vec{F}_r = 0$ , de donde  $\vec{F}_r = 120 \text{ N}$   
$$\vec{F}_N - \vec{w} = 0$$
, luego  $\vec{F}_N - 200 \text{ N} = 0$ , de donde  $\vec{F}_N = 200 \text{ N}$   
La fuerza normal mide 200 N y la fuerza de rozamiento mide 120 N

## LA TENSIÓN

Habitualmente, ejercemos fuerzas sobre los cuerpos por medio de cuerdas. Si consideramos que éstas son inextensibles y de masa despreciable (esto implica que hay la misma tensión en ambos lados de la cuerda), las fuerzas aplicadas sobre ellas se transmiten a los cuerpos a los que están unidos.

**La fuerza que se transmite por medio de una cuerda recibe el nombre de tensión.** La dirección de la cuerda determina la dirección de la tensión,  $T$ .

Mecanismos como los de ascensores o funiculares se basan en la tensión ejercida a través de una cuerda (fig. 4.20).

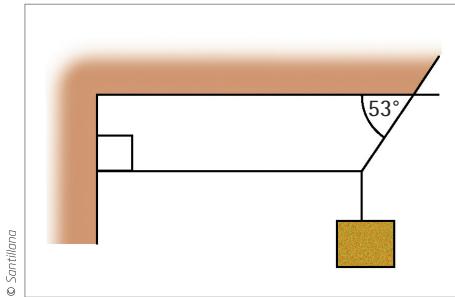


Fig. 4.21. El objeto está suspendido de dos cuerdas.

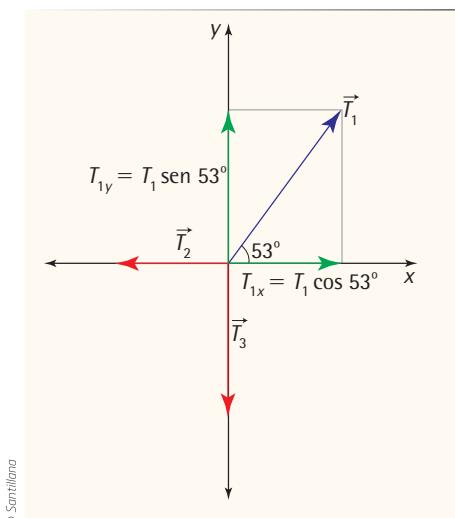


Fig. 4.22. Descomposición de las tensiones.

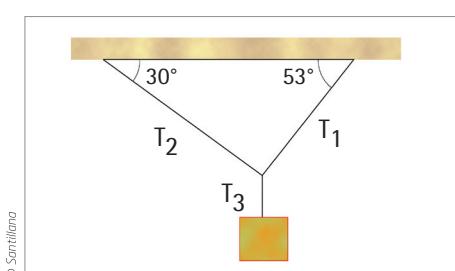


Fig. 4.23. El peso del objeto es de 200 N.

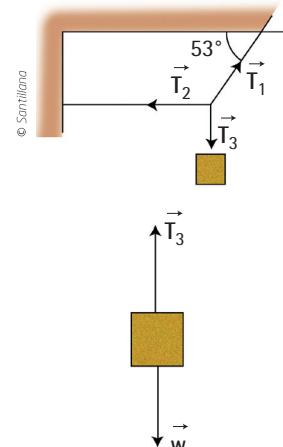
### Ejemplo

Para la situación de la figura 4.21, determina la tensión de las cuerdas, teniendo en cuenta que el peso del objeto es 100 N.

#### Solución

Dibujemos las fuerzas que actúan sobre el punto de unión de las tres cuerdas:  $\vec{T}_1$ ,  $\vec{T}_2$  y  $\vec{T}_3$

Además dibujemos las fuerzas que actúan sobre el objeto que cuelga, es decir, el peso  $\vec{w}$  dirigido hacia abajo y la tensión  $\vec{T}_3$ . Observa que la tensión  $\vec{T}_3$  actúa sobre el objeto hacia arriba y sobre el punto de unión de las tres cuerdas hacia abajo.



Puesto que el sistema permanece en reposo, la suma de las fuerzas presentes es cero. De ahí, el peso  $\vec{w}$  y la tensión  $\vec{T}_3$  tendrán el mismo módulo (100 N).

#### • Primer método de solución

Consideremos el punto de unión de las tres cuerdas y escribamos sus componentes de acuerdo con el sistema de coordenadas de la figura adjunta. La tensión  $\vec{T}_1$ , tiene componentes diferentes de cero tanto en el eje  $x$ ,  $T_{1x}$ , como en el eje  $y$ ,  $T_{1y}$ . A la componente en  $x$  de  $T_2$ ,  $T_{2x}$ , le anteponemos signo menos pues su sentido es contrario al sentido positivo del eje  $x$ .

El módulo de esta componente es igual al módulo de  $\vec{T}_2$ , pues la tensión en este caso no tiene componente en  $y$  ( $T_{2y} = 0$ ). Como el sistema está en reposo, la fuerza neta debe ser cero.

Es decir:

$$\vec{T}_1 = (T_{1x}, T_{1y})$$

$$\vec{T}_2 = (-T_{2x}, 0)$$

$$\vec{T}_3 = (0, -100)$$

$$F_{\text{neta}} = (0, 0)$$

$$T_{1y} = 100 \text{ N, pues } T_{1y} - 100 \text{ N} = 0 \text{ (fig. 22).}$$

Todas las fuerzas están medidas en N

$$T_{1y} = T_1 \cdot \sin 53^\circ, \text{ entonces } T_1 = \frac{T_{1y}}{\sin 53^\circ}, \text{ luego } T_1 = \frac{100}{0,8}, \text{ por tanto, } T_1 = 125 \text{ N.}$$

Puesto que  $T_{1x} = T_1 \cdot \cos 53^\circ$ , entonces  $T_{1x} = 125 \text{ N} \cdot 0,6$ . De donde,  $T_{1x} = 75 \text{ N}$   
Tenemos que  $T_2 = 75 \text{ N}$ , puesto que  $T_{1x} - T_2 = 0$ . Por tanto, las tensiones son:  $T_1 = 125 \text{ N}$ ,  $T_2 = 75 \text{ N}$  y  $T_3 = 100 \text{ N}$

#### • Segundo método de solución

Observa que la misma situación se podría desarrollar por medio de ecuaciones para los ejes  $x$  y  $y$  de acuerdo con la figura 4.23, así:

$$\text{En el eje } x: T_1 \cdot \cos 53^\circ - T_2 = 0$$

$$\text{En el eje } y: T_1 \cdot \sin 53^\circ - T_3 = 0$$

$$\text{Es decir, } 0,6 \cdot T_1 - T_2 = 0 \text{ y } 0,8 \cdot T_1 - 100 \text{ N} = 0$$

$$\text{De donde, } T_1 = 125 \text{ N y } T_2 = 75 \text{ N}$$

### Tarea

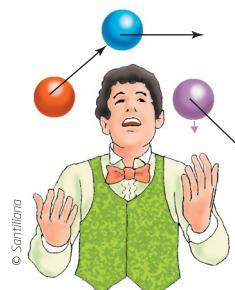
Para la situación mostrada en la figura 4.23, determina las tensiones de las cuerdas si el peso del objeto es de 200 N.



## Actividades

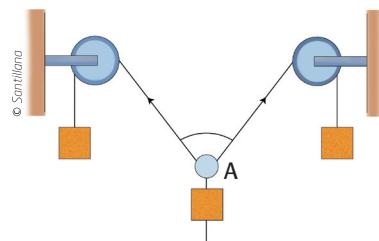
Analiza situaciones concretas usando las leyes de Newton.

1. Un malabarista lanza al aire varias bolas como se indica en la figura. Si las flechas indican la velocidad de cada bola en ese instante, ¿en qué caso o casos la fuerza que actúa sobre cada bola tiene la misma dirección de la velocidad?



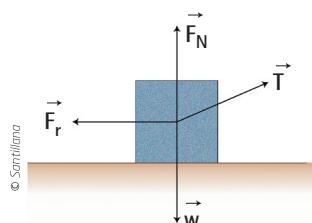
© Santillana

2. El anillo A está en equilibrio bajo la acción de las fuerzas que se ejercen sobre él. Dibuja las fuerzas que actúan sobre el anillo (punto A). ¿Por qué la fuerza neta sobre el anillo es igual a cero?



Reconoce las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y las dibuja usando diagramas de cuerpo libre.

3. Dibuja cinco fuerzas de igual módulo cuya resultante sea nula.  
4. ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre tu cuerpo cuando te encuentras de pie sobre el suelo?  
5. ¿Qué condiciones cumple la  $F_N$  en la figura, si el sistema se encuentra en equilibrio?



6. ¿Para qué sirven los rodamientos que se colocan en ciertos mecanismos?

7. ¿La fuerza normal tiene igual módulo que el peso en todos los casos?

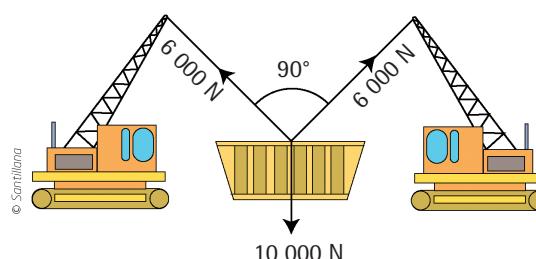
## I Investiga

Analiza situaciones concretas usando las leyes de Newton.

1. ¿Por qué un cuerpo sobre el que no actúan fuerzas puede estar en movimiento? Explica tu respuesta.
2. ¿Por qué un cuerpo puede moverse en sentido distinto al de la fuerza neta que actúa sobre él? Explica tu respuesta.
3. Describe el movimiento de un cuerpo para el cual la fuerza neta que actúa es cero.

## L Lección

1. Considera dos resortes de constante elástica tal que una es mayor que la otra. ¿Cuál de los resortes requiere una fuerza mayor si se desean estirar la misma distancia? Justifica tu respuesta.
2. La sonda Pioneer I salió del sistema solar en 1989. ¿Qué predicción puedes hacer sobre el movimiento que lleva en la actualidad?
3. ¿Puede el centro de gravedad de un cuerpo estar situado fuera de si mismo? Explica tu respuesta.
4. Por medio de dos grúas que ejercen cada una, una fuerza máxima de 6 000 N, se intenta levantar un contenedor cuyo peso es de 10 000 N, de forma que sus cables forman un ángulo de 90°. ¿Lograrán hacerlo? En caso negativo, calcula qué ángulo deben formar los cables de las grúas para conseguir levantar el contenedor.



# Problemas de ampliación

Analiza situaciones concretas usando las leyes de Newton.

## 1. ¿Cuál de las proposiciones es verdadera? Justifica tu respuesta.

- Una fuerza es una acción que puede variar el estado de movimiento de un cuerpo.
- La unidad de fuerza en el Sistema Internacional de unidades es el newton.
- Existen cuatro fuerzas fundamentales en la naturaleza.
- La parte de la física que estudia el movimiento a partir de la acción de las fuerzas es la dinámica.
- La fuerza normal siempre es igual al peso.

## 2. Copia los enunciados y complétalos.

- El \_\_\_\_\_ se conoce también como la primera ley de Newton.
- El \_\_\_\_\_ es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional de unidades.
- La \_\_\_\_\_ es la fuerza de atracción producida por la Tierra sobre los cuerpos.
- El \_\_\_\_\_ es un instrumento utilizado para medir fuerzas.
- La \_\_\_\_\_ es una fuerza que experimentan los cuerpos debido a la superficie donde se apoyan.

## 3. Contesta:

- ¿En qué se basa el funcionamiento de un dinamómetro?
- ¿Qué son los sistemas de referencia inerciales?

## 4. Las siguientes proposiciones son falsas. Corrígelas para que sean verdaderas.

- Un newton equivale a 102 kilogramos.
- Todos los cuerpos permanecen en reposo si la suma de las fuerzas existentes son diferentes de cero.
- La dirección del peso de los cuerpos depende de su volumen.
- Las fuerzas de tensión se deben a la gravedad terrestre.



## 5. Une las frases de la columna A con las situaciones que les correspondan en la columna B.

A

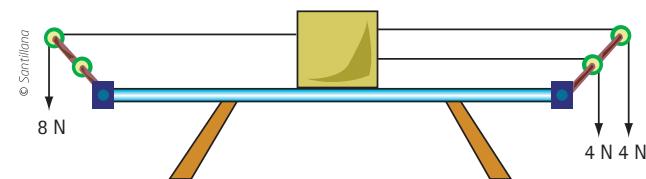
Fuerza de contacto.  
Fuerza de distancia.  
Fuerza normal.  
Fuerza de rozamiento.  
Tensión.

B

Un libro sobre una mesa.  
La atracción entre la Tierra y la Luna.  
Un carro frenando.  
Levantar un objeto con una polea.  
Dos rinocerontes peleando.

Reconoce las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y las dibuja usando diagramas de cuerpo libre.

## 6. Dibuja las fuerzas que actúan sobre el bloque.



Identifica la fuerza resultante de un sistema, así como sus componentes.

## 7. ¿Cómo puede detenerse un patinador sobre el hielo?

## 8. Es posible accionar el pedal del acelerador de un automóvil y observar que se mueve con rapidez constante. ¿Cómo explicas este hecho?

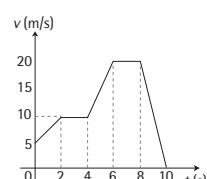
## 9. ¿Qué tiene que ver la ley de la inercia con el hecho de que los conductores deban usar el cinturón de seguridad?

## 10. Si sobre un cuerpo actúan dos fuerzas, ¿cómo deben estar aplicadas para que el cuerpo se mueva con rapidez constante?

## 11. ¿Cómo podrías construir un dinamómetro si estuvieras en la Luna?

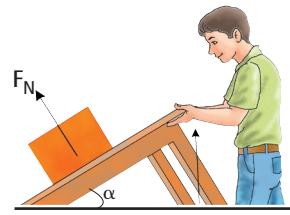
## 12. Explica por qué es posible que un cuerpo pueda estar en movimiento y encontrarse en equilibrio.

## 13. El siguiente gráfico ilustra el movimiento de un automóvil. Indica en qué intervalos de tiempo la fuerza neta es cero.



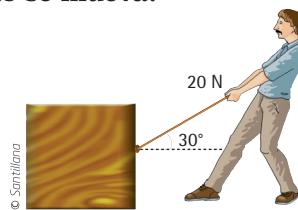


14. Una caja se encuentra sobre la superficie de una mesa. ¿Qué ocurre con el valor de la fuerza normal a medida que una persona va inclinando la mesa? ¿Hay fuerza normal cuando la mesa está en posición vertical? Explica tu respuesta.

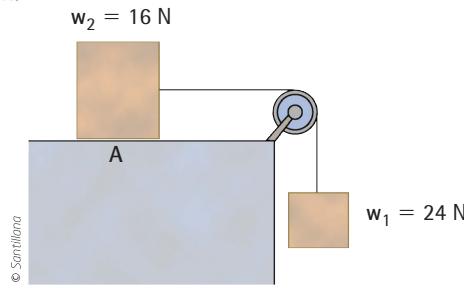


15. Un resorte, con constante de elasticidad  $k_1$ , se estira una distancia  $d_1$ , al ser suspendido de él un objeto de masa  $m_1$ . Para que otro resorte se estire también una longitud  $d_1$  se requiere colgar una masa  $4m_1$ . ¿Cómo debe ser el valor de su constante de elasticidad con respecto a  $k_1$ ?

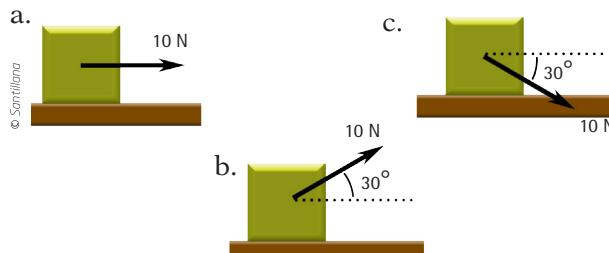
16. Sobre un cuerpo se aplica una fuerza de 20 N con un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal de  $30^\circ$ . ¿Cuál debe ser el valor de la fuerza de rozamiento para que el cuerpo no se mueva?



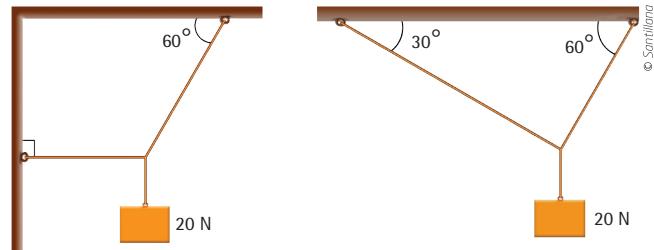
17. El bloque A de la figura se encuentra en reposo, ¿cuál es el valor de la fuerza de rozamiento entre  $w_2$  y A?



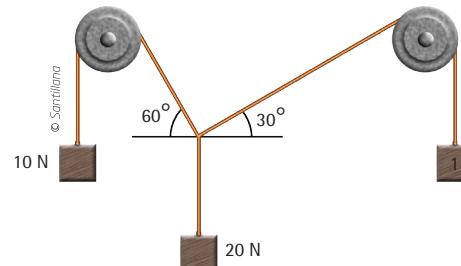
18. En las siguientes figuras, ¿cuál es el valor de la fuerza normal sobre un objeto cuyo peso es 50 N?



19. Determina el valor de la tensión en cada cuerda y dibuja las tensiones.



20. Determina el peso del bloque 1 para que el sistema se encuentre en reposo. Dibuja las fuerzas que actúan sobre cada bloque.



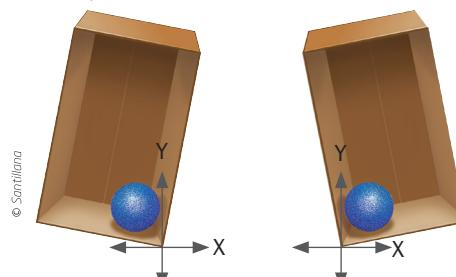
### Ti Trabajo individual

Dos fuerzas de 4 N y 5 N, respectivamente, se aplican de manera perpendicular sobre un cuerpo. ¿De qué módulo y en qué dirección se debe aplicar una tercera fuerza para que el cuerpo no se mueva?

### L Lección

a. Un objeto se encuentra en el origen de coordenadas y se le aplican las fuerzas:  $F_1 = 510 \text{ N}$  a  $53^\circ$  con relación a la parte positiva del eje x,  $F_2 = 535 \text{ N}$  a  $45^\circ$  con relación a la parte negativa del eje x, y  $F_3 = 540 \text{ N}$  sobre la parte negativa del eje y.  
¿De qué módulo y en qué dirección se debe aplicar una fuerza para que el objeto se mueva con velocidad constante?

b. En una caja se ubica un balón como muestran las figuras. Dibuja las fuerzas que actúan sobre el balón en cada caso y explica tu respuesta.



# Segunda ley de Newton. Ley fundamental de la dinámica

## Destrezas con criterio de desempeño:

- Analizar reflexivamente algunas aplicaciones y consecuencias de las leyes de Newton, con base en la descripción de situaciones cotidianas que involucran la existencia de fuerzas.
- Identificar cada una de las fuerzas presentes sobre un cuerpo en problemáticas diversas, a partir de la realización del diagrama de cuerpo libre.

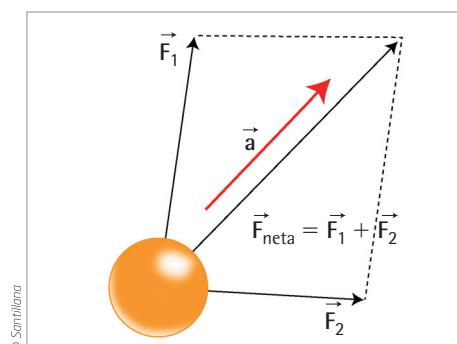


Fig. 4.24. La fuerza neta aplicada sobre un cuerpo y la aceleración tienen el mismo sentido y la misma dirección.

## POSTULADOS DE LA SEGUNDA LEY DE NEWTON

### Conocimientos previos

Si sobre un objeto en movimiento actúa una fuerza neta constante, esta ocasionará cambios en la velocidad. Dado que la velocidad cambia en magnitudes iguales, para tiempos iguales, ¿puedes afirmar que una fuerza constante produce una aceleración también constante?

Si se varía el valor de la fuerza neta aplicada sobre el objeto, encontramos que la aceleración también varía. Supongamos que a un mismo cuerpo se le aplican sucesivamente diferentes fuerzas,  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots$ , etc. y que, como consecuencia, adquiere respectivamente las aceleraciones,  $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3, \dots$ , etc. Las aceleraciones tienen la misma dirección y el mismo sentido que las fuerzas respectivas y además se cumple que

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = \dots$$

La segunda ley de Newton establece una relación concreta entre la fuerza neta que se aplica a un cuerpo y la aceleración que este adquiere. Así, podemos afirmar que la aceleración,  $\vec{a}$ , de cualquier partícula material tiene en todo momento la misma dirección y el mismo sentido de la fuerza neta (suma de las fuerzas),  $\vec{F}_{\text{neta}}$ , que actúa sobre ella (fig. 4.24). Además, el cociente entre los módulos de ambos vectores es igual a una constante, característica de la partícula. Es decir:

$$\frac{F_{\text{neta}}}{a} = \text{constante}$$

Esta expresión muestra que la fuerza neta y la aceleración son directamente proporcionales, y se relacionan mediante una constante de proporcionalidad. Esta es la **masa inercial del cuerpo**.

$$\vec{F}_{\text{neta}} = m \cdot \vec{a}$$

Esta ecuación se conoce como la **ecuación fundamental de la dinámica**.

De esta manera, la segunda ley de Newton se puede expresar así:

**La fuerza neta que se ejerce sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que produce dicha fuerza, siendo la masa del cuerpo la constante de proporcionalidad.**

A partir de la ecuación fundamental de la dinámica, se deduce que la aceleración que experimenta un cuerpo es inversamente proporcional a la masa del mismo, cuando la  $\vec{F}_{\text{neta}}$  permanece constante (fig. 4.25)

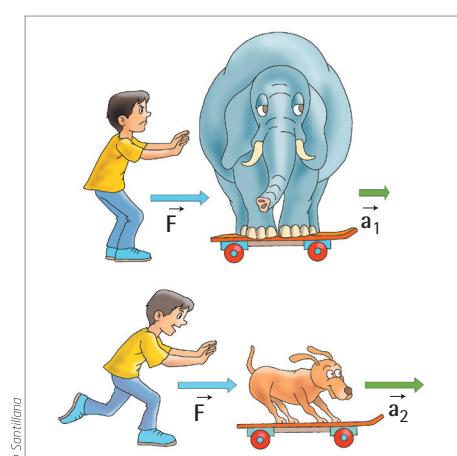


Fig. 4.25. Si se aplican iguales fuerzas sobre cada animal, aquel que posea la mayor masa adquirirá una menor aceleración.



© Santillana

Fig. 4.26. El avión desacelera paulatinamente a lo largo de la pista, gracias a la fuerza de rozamiento.

Así, si a dos cuerpos se les aplica la misma fuerza, aquel que tenga mayor masa experimentará una aceleración menor. Por esta razón, se dice que **la masa es una medida de la inercia de un cuerpo**, es decir, de la tendencia de dicho cuerpo a permanecer en su estado de reposo o de movimiento. Para una fuerza neta dada, cuanto mayor es la masa del cuerpo sobre el cual se aplica, menor es la aceleración que produce sobre él.

La fuerza se mide en términos del esfuerzo requerido para provocar la aceleración de un cuerpo cualquiera. Recordemos que un newton se define como **la fuerza neta que se debe aplicar a un cuerpo de 1 kilogramo de masa para que se produzca sobre él una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$** .

Puesto que la dirección y sentido de la fuerza neta coinciden con los de la aceleración que dicha fuerza produce, si la fuerza neta tiene el mismo sentido del movimiento del cuerpo, la velocidad aumenta. Mientras que, si la fuerza neta tiene sentido contrario al movimiento del cuerpo, la velocidad disminuye.

La ecuación fundamental de la dinámica, contiene como caso particular el principio de inercia, pues cuando  $F_{\text{neta}} = 0$ , resulta que  $a = 0$ , es decir, que si la fuerza neta es igual a cero, el cuerpo permanece en reposo o permanece con velocidad constante.

### Ejemplos

1. Si al golpear una pelota con una fuerza de  $1,2 \text{ N}$ , esta adquiere una aceleración de  $3 \text{ m/s}^2$ , ¿cuál es la masa de la pelota?

#### Solución

Como hay una única fuerza que actúa sobre la pelota, la aceleración tendrá la misma dirección de dicha fuerza. Sustituyendo términos en la ecuación

$$\text{fundamental de la dinámica, tenemos: } m = \frac{F}{a} = \frac{1,2 \text{ N}}{3 \text{ m/s}^2} = 0,4 \text{ kg}$$

Observa que las unidades kg se obtienen a partir de:  $\frac{\text{N}}{\text{m/s}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{m/s}^2} = \text{kg}$

2. Un avión de  $6\,000 \text{ kg}$  de masa hace contacto con el piso a una velocidad de  $500 \text{ km/h}$  ( $= 138,9 \text{ m/s}$ ) y se detiene después de 10 segundos de avanzar por la pista (fig. 4.26). ¿Cuánto vale la fuerza de rozamiento?

#### Solución

Asumamos que, mientras el avión aterriza, la fuerza neta es igual a la fuerza de rozamiento ( $F_r$ ). Teniendo en cuenta que  $F_{\text{neta}} = m \cdot a$ , tenemos que,  $F_r = m \cdot a$ ,

Ahora bien, si el avión frena, desacelerando uniformemente, podemos determinar su aceleración a partir de la expresión:

$$v = v_0 + at, \text{ y por tanto, } a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - 138,9 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = -13,9 \text{ m/s}^2$$

Así, la fuerza de rozamiento es:

$$F_r = m \cdot a = -6\,000 \text{ kg} \cdot 13,9 \text{ m/s}^2 = -83\,400 \text{ N}$$

El signo menos indica que la fuerza actúa en dirección contraria a la velocidad.



Si quieras saber más sobre la segunda ley de Newton, busca en la página *Libros en línea* en [goo.gl/YrsZx](http://goo.gl/YrsZx)

### Tarea

Una piedra de  $100 \text{ g}$  de masa se deja caer desde el borde de un acantilado de  $20 \text{ m}$  de altura. Sabiendo que la piedra llega al agua tres segundos después de haber comenzado su caída, calcula la fuerza de rozamiento que aplica el aire a la piedra suponiendo que la fuerza de rozamiento es constante.

## EL PESO

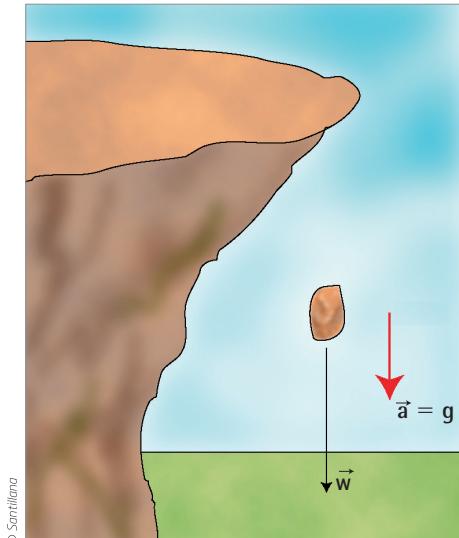


Fig. 4.27 La aceleración de la gravedad y el peso tienen la misma dirección.

El vector que representa el peso de un cuerpo siempre está dirigido hacia el centro de la Tierra. Aunque el peso de un cuerpo está relacionado con su masa, es importante diferenciar claramente los dos conceptos: la masa de un cuerpo es la misma en la Tierra y en la Luna, pero su peso es seis veces menor en la Luna que aquí en la Tierra. Por ejemplo, nos resultaría más fácil levantar un compañero de juego en la Luna que en la Tierra, aunque requeriríamos la misma fuerza, en ambos lugares, para detenerlo si fuera corriendo a 25 km/h, pues en ambos sitios tiene la misma masa. Por otra parte, observa que, a diferencia del peso, la masa no es una cantidad de carácter vectorial.

El peso también varía con la altura, es decir, con la distancia entre el cuerpo y el centro de la Tierra. Así, un cuerpo situado sobre la superficie terrestre pesa más que cuando se encuentra a una determinada altura. No obstante, esta variación se hace perceptible solo a alturas considerables, siendo despreciable para alturas como, por ejemplo, el piso 20 de un edificio.

Puesto que el peso,  $\vec{w}$ , es una fuerza podemos relacionar el peso y la aceleración de un objeto que cae, a partir de la ecuación fundamental de la dinámica. Teniendo en cuenta que, si la única fuerza que actúa sobre un cuerpo es el peso y la aceleración está siendo provocada únicamente por la gravedad,  $g$ , tenemos:

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

### Tc Trabajo cooperativo

Formen parejas y resuelvan este problema. Un dinamómetro que cuelga del techo de un ascensor sostiene un cuerpo de 10 kg de masa (fig. 4.28). Indiquen la lectura del dinamómetro si el ascensor:

- Experimenta una aceleración de  $2 \text{ m/s}^2$  hacia arriba.
- Experimenta una aceleración de  $2 \text{ m/s}^2$  hacia abajo.
- Asciende con velocidad constante.
- Desciende en caída libre.

Los resultados obtenidos se llaman *pesos*.

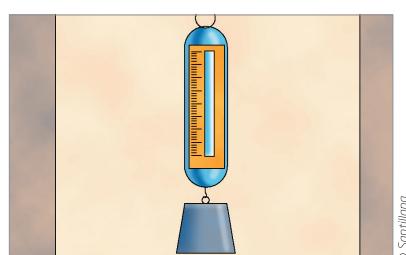


Fig. 4.28 El dinamómetro cuelga del techo de un ascensor.

### Ejemplos

- Una piedra de masa 1 kg cae en el vacío, cerca de la superficie de la Tierra (fig. 4.27). ¿Cuánto pesa la piedra?

#### Solución

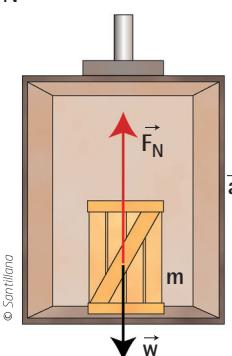
Sabemos, que la piedra cae con aceleración constante y que su valor es  $9,8 \text{ m/s}^2$ . A partir de la ecuación fundamental de la dinámica, podemos concluir que el peso de la piedra debe ser:

$$w = m \cdot g = 1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N}$$

- Una caja que pesa 20 kg se encuentra sobre el piso de un ascensor que sube con una aceleración constante de  $0,5 \text{ m/s}^2$ . ¿Qué fuerzas actúan sobre la caja? ¿Cuál es la magnitud de cada una de estas fuerzas?

#### Solución

Dibujemos un diagrama de fuerzas. Las fuerzas presentes son: el peso de la caja ( $m \cdot g$ ) y la fuerza normal  $F_N$  que el piso del ascensor ejerce sobre la caja.



La fuerza neta sobre la caja es pues:

$$F_{\text{neta}} = F_N - m \cdot g$$

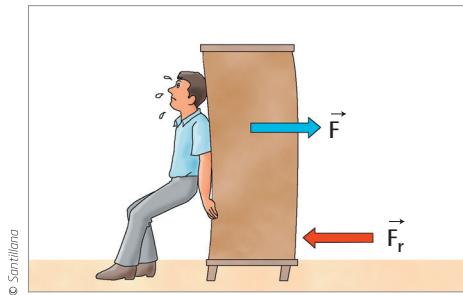
Pero, según la ecuación fundamental de la dinámica, la fuerza neta es:

$$F_{\text{neta}} = m \cdot a = 20 \text{ kg} \cdot 0,5 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$$

Por otra parte, el peso del objeto es:

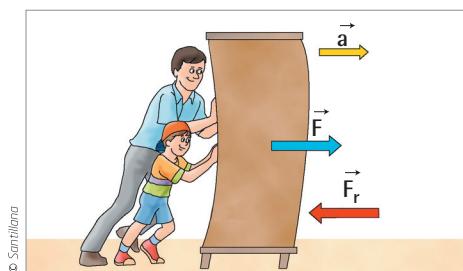
$$w = m \cdot g = 20 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 196 \text{ N}$$

De donde,  $10 \text{ N} = F_N - 196 \text{ N}$ . Por tanto,  $F_N = 206 \text{ N}$



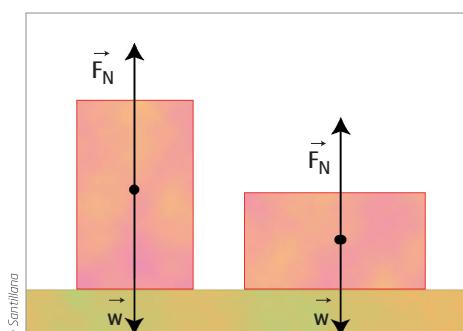
© Santillana

Fig. 4.29. Cuando un objeto se encuentra en reposo, actúa la fuerza de rozamiento estático.



© Santillana

Fig. 4.30. La fuerza de rozamiento estático alcanza su máximo valor inmediatamente antes de que el cuerpo comience a moverse.



© Santillana

Fig. 4.31. La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal y no depende del área de contacto.

## LA FUERZA DE ROZAMIENTO

Las fuerzas son el resultado de interacciones de diversos tipos entre los cuerpos. Uno de los ejemplos más fácilmente evidenciables de interacciones entre cuerpos es la fuerza de rozamiento, producida cuando las superficies de dos cuerpos entran en contacto directo.

A continuación, analizaremos dos aspectos de esta fuerza: la fuerza de rozamiento estático y cinético. Las superficies no son perfectamente lisas, sino que presentan una serie de rugosidades que, al encajar con las de otras superficies, cuando se ponen en contacto, producen una oposición al movimiento, representada por la fuerza de rozamiento.

### FUERZA DE ROZAMIENTO ESTÁTICO

En la (fig. 4.29) se muestra una situación en la que una persona trata de mover un objeto pesado, empujándolo. Dado que el mueble permanece quieto, la suma de las fuerzas que actúan sobre él, es cero. La fuerza responsable de que el objeto permanezca quieto es la fuerza de rozamiento,  $\vec{F}_r$ , cuya magnitud es igual a la fuerza ( $\vec{F}$ ) ejercida al tratar de mover dicho cuerpo. A este tipo de rozamiento se le conoce como **fuerza de rozamiento estático**. Puede suceder que, aunque se aumente la fuerza con la cual se empuja, el mueble permanezca inmóvil. Esto significa que la fuerza de rozamiento estático también aumenta su valor, de manera que se cumple la igualdad  $F = F_r$ .

Ahora, si dos personas intentan empujar el mueble (fig. 4.30), la fuerza aplicada aumenta, hasta que eventualmente el mueble empieza a moverse, con lo cual, se habrá vencido la fuerza de rozamiento.

El valor de la fuerza que permite el movimiento es la **fuerza de rozamiento estático máximo** existente entre el mueble y el piso. Si la fuerza aplicada no supera este valor, los cuerpos en contacto no cambiarán su estado de reposo.

Supongamos que cada superficie es un cepillo, cuyas cerdas equivalen a las irregularidades. Si se presiona un cepillo contra el otro, las cerdas se entrelazan, por lo que, al aplicarse una fuerza paralela a la superficie, se dificulta el desplazamiento, dando origen a las fuerzas de rozamiento. Cuanto más se presionan los cepillos, más se incrustan las cerdas del uno en las del otro y en consecuencia, mayor resulta la fuerza necesaria para desplazar las superficies. En consecuencia:

**La fuerza de rozamiento estático máximo resulta proporcional a la fuerza que se ejercen mutuamente las superficies en la dirección perpendicular a ellas.**

Cuando un objeto se encuentra sobre una superficie, la fuerza perpendicular que la superficie le ejerce equivale a la  $F_N$  (fig. 4.31). Por tanto,

$$F_{r \text{ e máximo}} = \mu_e \cdot F_N$$

La constante de proporcionalidad  $\mu_e$  se denomina **coeficiente de rozamiento estático** y su valor, que por lo general es menor que 1, depende de los dos materiales que estén en contacto.

Esto quiere decir que la fuerza de rozamiento depende de la naturaleza de las superficies que se ponen en contacto. Por ejemplo,  $\mu_e$  tiene un valor diferente cuando se tienen superficies como el asfalto y el caucho, que si se trata de hielo y metal. Por otra parte, al depender de la fuerza normal, la fuerza de rozamiento no se relaciona con el área de las superficies en contacto, siempre que las caras sean de la misma naturaleza.

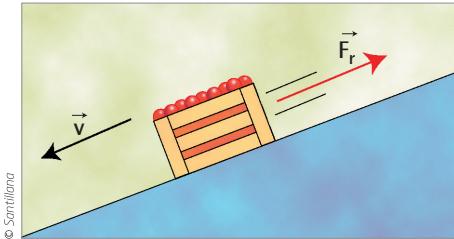


Fig. 4.32. Un cuerpo cae deslizándose por una superficie inclinada. La fuerza de rozamiento tiene sentido contrario al desplazamiento. Lo mismo ocurre si este sube.

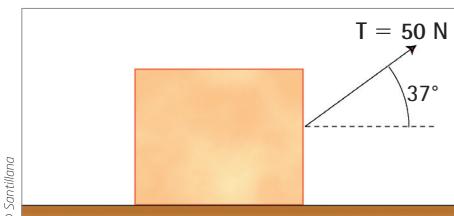


Fig. 4.33 Sobre el objeto actúa la tensión T.

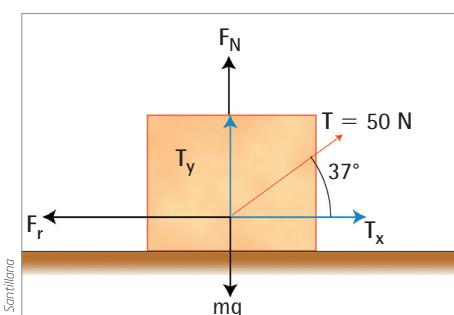


Fig. 4.34. Diagrama de fuerzas.

## LA FUERZA DE ROZAMIENTO CINÉTICO

Una vez que la fuerza aplicada sobre un objeto supera en magnitud a la fuerza de rozamiento estático, el objeto se mueve (fig. 4.32). Ya en movimiento, el rozamiento cambia de valor y recibe el nombre de **fuerza de rozamiento cinético**. Una vez que el objeto empieza a moverse, la fuerza necesaria para conservar el movimiento es menor. Esto implica que la fuerza de rozamiento cinético es menor que la fuerza de rozamiento estática máxima.

La fuerza de rozamiento resulta directamente proporcional a la fuerza normal. La constante de proporcionalidad que, como en el caso del rozamiento estático, depende de la naturaleza de las superficies en contacto, se llama **coeficiente de rozamiento cinético**,  $\mu_c$ . En este caso, tenemos:

$$F_{rc} = \mu_c \cdot F_N$$

### Ejemplo

Un objeto de 10 kg de masa se desliza sobre una superficie plana, luego de aplicarle una fuerza de 50 N que forma con la horizontal un ángulo de 37° (fig. 4.33). El coeficiente de rozamiento dinámico entre el bloque en movimiento y la superficie es de 0,30. Determina si el cuerpo se mueve con velocidad constante. En caso contrario, determina la aceleración con la cual se mueve.

#### Solución

Las componentes de la tensión, T (fig. 4.34) son:

$$T_x = T \cdot \cos 37^\circ = 50 \text{ N} \cdot 0,8 = 40 \text{ N} \quad T_y = T \cdot \sin 37^\circ = 50 \text{ N} \cdot 0,6 = 30 \text{ N}$$

El módulo del peso, w, del objeto está dado por  $m \cdot g = 10 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 98 \text{ N}$

No conocemos la componente sobre el eje x de la fuerza de rozamiento ni la componente en y de la fuerza normal, solo conocemos los sentidos. Sabemos que si el objeto no se levanta de la superficie sobre la cual se desliza, la componente en el eje y de la fuerza neta es igual a cero. Escribimos las componentes de las fuerzas, expresándolas en N:

$$\begin{aligned} \vec{T} &= (40, 30) \\ m \cdot \vec{g} &= (0, -98) \\ \vec{F}_r &= (-F_r, 0) \\ \vec{F}_N &= (0, F_N) \\ \hline \vec{F}_{\text{neta}} &= (F_{\text{neta}}, 0) \end{aligned}$$

Podemos plantear las siguientes ecuaciones para las componentes en x:  $40 \text{ N} - F_r = F_{\text{neta}}$  y en y:  $30 \text{ N} - 98 \text{ N} + F_N = 0$

De las componentes sobre el eje y, podemos deducir que  $F_N = 68 \text{ N}$ . Puesto que  $F_r = \mu \cdot F_N$ , tenemos que  $F_r = 0,30 \cdot 68 \text{ N} = 20,4 \text{ N}$

De la misma manera, con respecto a las componentes en el eje x podemos deducir que  $F_{\text{neta}} = 40 \text{ N} - 20,4 \text{ N} = 19,6 \text{ N}$

El objeto no se mueve con velocidad constante, puesto que la fuerza neta es diferente de cero.

Podemos obtener la aceleración a partir de la ecuación  $F_{\text{neta}} = m \cdot a$ , por tanto,  $a = \frac{19,6 \text{ N}}{10 \text{ kg}} = 1,96 \text{ m/s}^2$

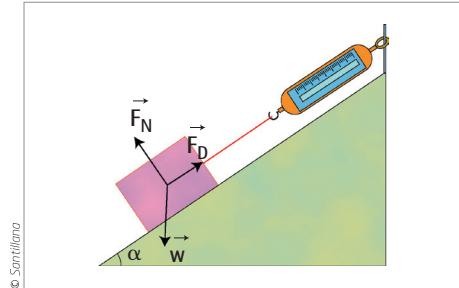
## L Lección

Resuelve el problema.

Un cajón de madera de 40 kg de masa se encuentra sobre una carretera de asfalto. Sabiendo que el coeficiente de rozamiento estático entre la madera y el asfalto es de 0,30, ¿se moverá el cajón si es empujado con una fuerza de 100 N? ¿Qué fuerza debe aplicarse para que se mueva con velocidad constante, si el coeficiente de rozamiento dinámico es de 0,25?

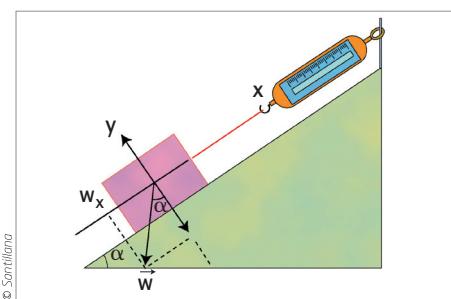


## EL PLANO INCLINADO



© Santillana

Fig. 4.35. Fuerzas que actúan sobre un cuerpo situado sobre un plano inclinado.



© Santillana

Fig. 4.36. Descomposición del peso en las componentes a lo largo de los ejes escogidos.

Un **plano inclinado** es una superficie plana que forma un determinado **ángulo  $\alpha$  con la horizontal**.

Al colocar un cuerpo unido por un dinamómetro sobre un plano inclinado liso (con un rozamiento ínfimo), tal como se muestra en la figura 4.35, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son tres: su peso, ( $w = m \cdot g$ ), la fuerza normal ( $F_N$ ) y la fuerza que ejerce el resorte del dinamómetro ( $F_D$ ), que es indicada en la escala del dinamómetro. Como el cuerpo se encuentra en equilibrio bajo la acción de las tres fuerzas, se cumple que:

$$\vec{w} + \vec{F}_N + \vec{F}_D = 0$$

Tomaremos los ejes  $x$  y  $y$  en las direcciones mostradas en la figura 4.36. El peso,  $\vec{w}$ , del cuerpo puede descomponerse en otras dos fuerzas: una en el eje  $x$ ,  $w_x$ , y la otra en el eje  $y$ ,  $w_y$ . Podemos escribir entonces:

$$\begin{aligned} \vec{w} &= (-w_x, -w_y) \\ \vec{F}_N &= (0, F_N) \\ \vec{F}_D &= (F_D, 0) \\ \vec{F}_{\text{neta}} &= (0, 0) \end{aligned}$$

Esto muestra que la componente sobre el eje  $y$  del peso,  $w_y$ , y la fuerza normal tienen el mismo módulo, con sentidos contrarios. De la misma manera, la fuerza que aplica el dinamómetro,  $\vec{F}_D$ , y la componente del peso en el eje  $x$ ,  $w_x$ , tienen el mismo módulo, con sentidos contrarios.

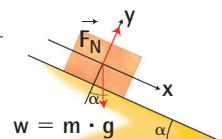
### Ejemplo

Un bloque de masa 10 kg se desliza por un plano inclinado  $30^\circ$  con respecto a la horizontal. Determina la aceleración del bloque si se desprecia el rozamiento.

#### Solución

Si no existe rozamiento entre el plano y el bloque, las únicas fuerzas que actúan sobre el bloque son su peso,  $\vec{w}$ , y la fuerza normal,  $\vec{F}_N$ . El peso del objeto es

$$w = m \cdot g = 10,0 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 98 \text{ N}$$



Tomemos el eje  $x$  en la dirección del movimiento y el eje  $y$ , perpendicular al eje  $x$ . Con ello, tenemos que las componentes del peso son (fig. 13):

$$w_x = m \cdot g \cdot \sin 30^\circ = 98 \text{ N} \cdot \sin 30^\circ = 49 \text{ N}$$

$$w_y = m \cdot g \cdot \cos 30^\circ = 98 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ = 84 \text{ N}$$

Por tanto,

$$\vec{w} = (49, -84)$$

$$\vec{F}_N = (0, F_N)$$

$$\vec{F}_{\text{neta}} = (m \cdot a, 0), F_N = w_y$$

A partir de las componentes en el eje  $x$ , tenemos:  $49 \text{ N} = m \cdot a$

Luego,  $10 \text{ kg} \cdot a = 49 \text{ m}$ , de donde  $a = 4,9 \text{ m/s}^2$

Si no hay rozamiento, la aceleración es  $4,9 \text{ m/s}^2$

### Tc Trabajo cooperativo

Junto con un compañero, resuelvan el ejercicio solucionado, considerando que:

- El ángulo de inclinación del plano es  $60^\circ$ .
- El objeto tiene el doble de masa. Expliquen qué cambios experimenta la aceleración en este caso.
- El coeficiente de rozamiento cinético entre el plano y el bloque es  $\mu = 0,20$ .

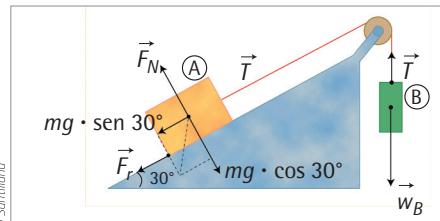


Fig. 4.37. Diagrama de fuerzas para los dos cuerpos.

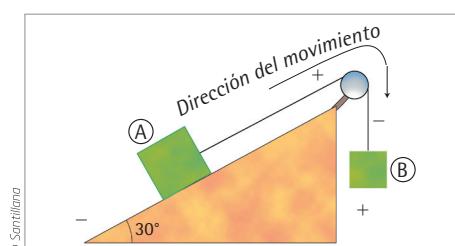


Fig. 4.38. La flecha indica la dirección del movimiento, considerada positiva.

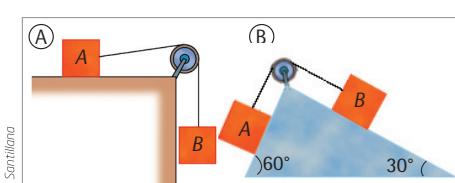


Fig. 4.39. La masa del cuerpo A es de 2,0 kg y la del cuerpo B es de 4,0 kg.

### Ejemplo

Sobre un plano inclinado que forma un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal, se encuentra un bloque, A, de 5 kg que está unido a otro bloque, B, de 3 kg. Este cuelga de un hilo que pasa por una polea situada en la parte superior del plano (fig. 4.37). Calcula la aceleración del sistema y la tensión del hilo, si el coeficiente de rozamiento entre el bloque y el plano es de 0,1.

#### Solución

Supongamos que, debido al peso del bloque B que cuelga, el sistema se pone en movimiento y arrastra al bloque A. En consecuencia, el bloque A asciende por el plano, por lo cual la fuerza de rozamiento se dirige hacia abajo.

Veamos las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo. Para ello, consideraremos el sentido del movimiento que indican las flechas en la (fig. 4.38). Para escribir las relaciones entre las fuerzas, tomemos los sentidos positivos que se indican en la figura para ambos objetos.

**Bloque B.** Sobre el bloque B, únicamente actúan el peso,  $w_B = m_B \cdot g = 29,4$  N, y la tensión del hilo,  $T$ . El peso,  $\vec{w}_B$ , tiene el sentido del movimiento, mientras que  $\vec{T}$  se dirige en sentido contrario, por lo cual al aplicar la ecuación fundamental de la dinámica, tenemos:

$$F_{\text{neta}} B = 29,4 \text{ N} - T, \text{ es decir, } 29,4 \text{ N} - T = 3 \text{ kg} \cdot a$$

**Bloque A.** Puesto que sobre el bloque A actúan la fuerza de rozamiento, la fuerza normal, la tensión de la cuerda y el peso, debemos considerar lo que sucede en la dirección del movimiento y en la dirección perpendicular a este. En sentido perpendicular a la dirección del movimiento, actúan la fuerza normal,  $F_N$ , y la componente del peso,  $-m_A \cdot g \cdot \cos 30^\circ = -42,4$  N

En la dirección del movimiento, actúan la tensión,  $\vec{T}$ , la fuerza de rozamiento,  $\vec{F}_r$ , y la componente del peso,  $m \cdot g \cdot \sen 30^\circ = 24,5$  N.

La componente de la fuerza neta en el eje y es igual a cero pues en esta dirección no hay movimiento para el bloque A. Si suponemos que la cuerda no tiene masa, la tensión en los dos extremos de la cuerda es  $\vec{T}$  y, por tanto, al escribir las componentes de los vectores tenemos:

$$\begin{aligned} \vec{T} &= (T, & 0) \\ \vec{F}_N &= (0, & F_N) \\ \vec{F}_r &= (-F_r, & 0) \\ \vec{w} &= (24,5, & -42,4) \\ F_{\text{neta}} A &= (5 \text{ kg} \cdot a, & 0) \end{aligned}$$

A partir de las componentes en el eje y, la fuerza normal es  $F_N = 42,4$  N

El módulo de la fuerza de rozamiento es  $F_r = 0,1 \cdot 42,4 \text{ N} = 4,2 \text{ N}$

A partir de las componentes en el eje x:  $T - 24,5 \text{ N} - 4,2 \text{ N} = 5 \text{ kg} \cdot a$

Tenemos entonces las dos siguientes ecuaciones.

$$29,4 \text{ N} - T = 3 \text{ kg} \cdot a$$

$$T - 28,7 \text{ N} = 5 \text{ kg} \cdot a$$

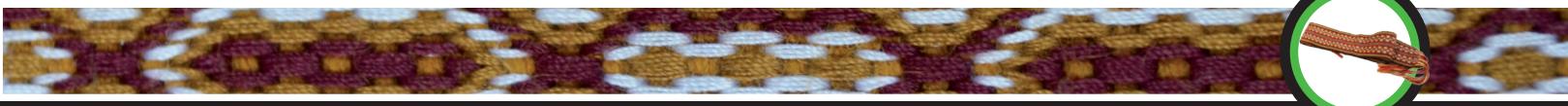
Sumándolas miembro a miembro, obtenemos  $0,7 \text{ N} = 8 \text{ kg} \cdot a$

Luego,  $a = 0,08 \text{ m/s}^2$

Calculamos la tensión a partir de cualquiera de las ecuaciones anteriores y obtenemos  $T = 29,1 \text{ N}$

### Tarea

Determina la aceleración de los sistemas de la (fig. 4.39). El cuerpo A es de masa 2 kg y el cuerpo B es de masa 4 kg. El coeficiente de rozamiento entre las superficies es de 0,20, en ambos casos.

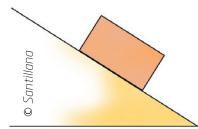


## Actividades

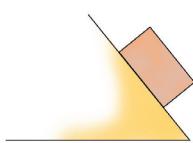
Verifica conceptos relacionados con la segunda ley de Newton.

1. En las figuras, la masa del bloque y el coeficiente de rozamiento tienen los mismos valores. ¿En cuál de ellos es mayor la fuerza de rozamiento?

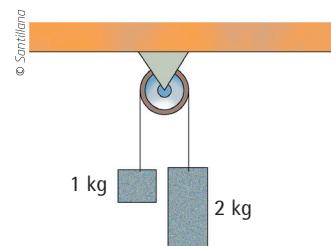
a.



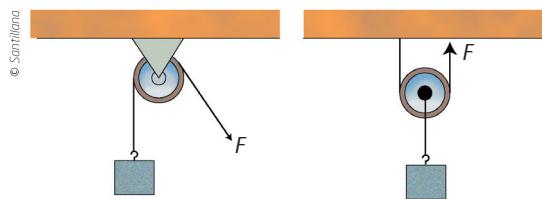
b.



2. Determina la aceleración del sistema mostrado en la máquina de Atwood de la figura, si la polea carece de rozamiento.

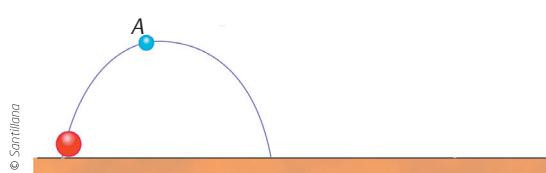


3. Determina la fuerza necesaria para sostener el objeto de peso 1 000 N en cada caso. Considera las poleas de peso despreciable.



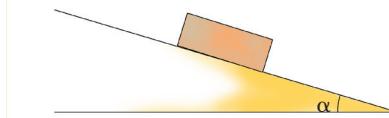
4. Plantea un ejemplo de un cuerpo que se mueve en una dirección diferente de la fuerza neta aplicada sobre él.

5. Si no tenemos en cuenta la resistencia del aire, dibuja en el punto A la fuerza neta que actúa sobre el proyectil cuya trayectoria se muestra en la figura.

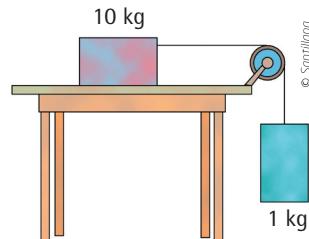


Analiza y resuelve problemas relacionados con la segunda ley de Newton.

6. Demuestra que la aceleración de un cuerpo de masa  $m$ , que cae sobre un plano inclinado es  $g \cdot \operatorname{sen} \alpha$ .



7. ¿Bajo qué condiciones un cuerpo liviano que cuelga puede arrastrar a otro cuerpo, más pesado, que se encuentra sobre un plano horizontal, si los dos están atados por una cuerda?



## L Lección

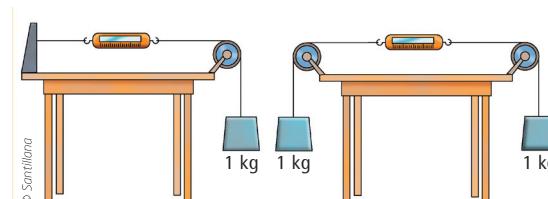
Investiga conceptos relacionados con la segunda ley de Newton.

1. ¿Por qué las llantas de los autos no son lisas, sino que presentan surcos?
2. ¿Por qué es más probable resbalarse al caminar sobre un piso encerado que al caminar sobre otro que no lo está?
3. ¿Por qué para desplazarse sobre el hielo se utilizan trineos y no vehículos con ruedas?

## I Investiga

Analiza y resuelve problemas relacionados con la segunda ley de Newton.

1. Plantea un argumento que demuestre que la fuerza de rozamiento no depende del área de la superficie de contacto entre una caja y la superficie, si las caras de la caja son de la misma naturaleza.
2. Los delanteros de fútbol americano son elegidos de tal manera que sea difícil detenerlos en plena carrera. Si se realizará un partido en la Luna, ¿sería más fácil detenerlos?
3. ¿Cuánto marcan los dinamómetros en cada una de las siguientes situaciones?



# Problemas de ampliación

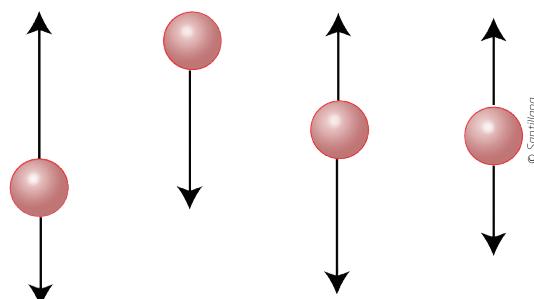
Verifica conceptos relacionados con la segunda ley de Newton.

**1. Escoge la afirmación correcta.**

La segunda ley de Newton afirma que:

- a. La fuerza es directamente proporcional a la masa.
- b. La aceleración es directamente proporcional a la masa.
- c. La fuerza es inversamente proporcional a la masa.
- d. La fuerza es inversamente proporcional a la aceleración.

**2. Se lanza un objeto verticalmente desde el suelo hacia arriba. Considerando nulo el rozamiento con el aire, ¿cuál de los siguientes esquemas representa correctamente la fuerza o las fuerzas que actúan sobre el objeto, en un punto cualquiera de su ascenso? Justifica tu respuesta.**



**3. ¿A qué se debe el cambio de velocidad de un objeto?**

**4. Dibuja las fuerzas que actúan sobre un avión que vuela horizontalmente con el viento en contra.**

**5. Une las frases de la columna A con las que correspondan en la columna B.**

**A**

**B**

Fuerza.

Unidad de medida.

Peso.

Atracción gravitacional.

Newton.

Superficie que forma un ángulo con la horizontal.

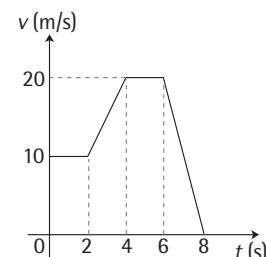
Rozamiento estático.

Genera cambios de velocidad.

Plano inclinado.

Se opone al movimiento.

**6. Observa la gráfica y escribe los tiempos en que la fuerza neta es:**



- a. cero.
- b. diferente de cero.
- c. la causa de aceleración del cuerpo.

Analiza y resuelve problemas relacionados con la segunda ley de Newton.

**7. ¿Debe la dirección de la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo coincidir con la dirección del cambio de velocidad del cuerpo? Explica tu respuesta.**

**8. Sobre los dos bloques colocados en una superficie sin rozamiento, actúan dos fuerzas como indica la figura. ¿Cuál es la aceleración con la que se mueven los dos bloques?**



**9. Una persona se ayuda de una polea para levantar un objeto, como se muestra en la figura. Si el sistema está en equilibrio, ¿cómo harías para conocer el peso de la persona utilizando un dinamómetro? ¿Dónde lo ubicarías?**



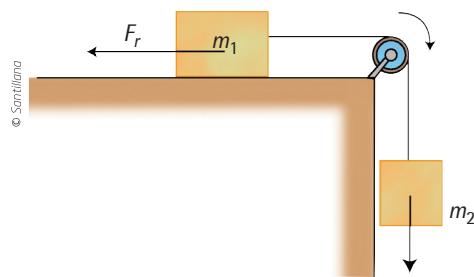
**10. En el lanzamiento de un paracaidista, inicialmente su movimiento es aproximadamente aquel de caída libre. Una vez que se abre el paracaídas, actúa, además del peso, la fuerza de rozamiento que ejerce el aire, la cual es proporcional a la rapidez. En el último tramo del movimiento, el paracaidista desciende con velocidad constante. Construye los diagramas de fuerza para los tres momentos del movimiento.**



11. Una fuerza horizontal de 5 000 N acelera un auto de 1 500 kg a partir del reposo. ¿Cuál es la aceleración del auto? ¿Cuánto tiempo tarda en alcanzar una rapidez de 25 m/s?

12. Un cuerpo de 6,5 kg parte del reposo y recorre una distancia de 22 m en 5,4 s por acción de una fuerza constante. Encuentra el valor de la fuerza.

13. Dos bloques con masas  $m_1 = 5 \text{ kg}$  y  $m_2 = 8 \text{ kg}$ , respectivamente, están dispuestos como se muestra en la figura. ¿Cuál es la aceleración de los dos bloques si la fuerza de rozamiento que aplica la superficie es de 30 N?



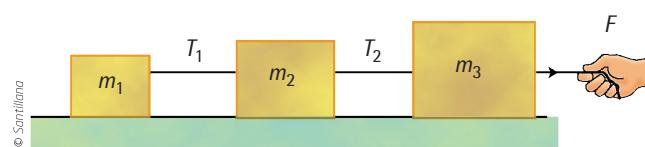
14. Si se halan tres bloques a lo largo de una mesa sin rozamiento, como se muestra en la figura, ¿cuál es la aceleración del sistema? ¿Cuánto valen las tensiones  $T_1$  y  $T_2$ ?

$$m_1 = 6,0 \text{ kg}$$

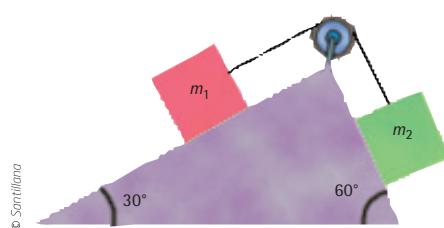
$$m_2 = 12,0 \text{ kg}$$

$$m_3 = 18,0 \text{ kg}$$

$$F = 72 \text{ N}$$



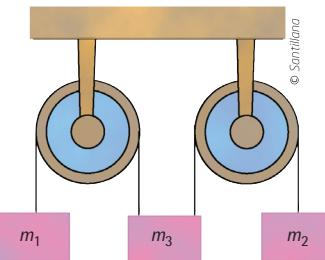
15. Dos bloques, con masas  $m_1 = 8 \text{ kg}$  y  $m_2 = 4 \text{ kg}$ , se encuentran unidos por medio de una cuerda como se muestra en la figura. Si consideramos despreciables los rozamientos de los planos inclinados, ¿cuál es la aceleración del sistema y en qué dirección está dirigida?



16. ¿Qué aceleración experimenta un cuerpo de 200 g cuando sobre él se aplica una fuerza neta de 20 N?

17. ¿Qué fuerza se requiere para imprimirle una aceleración de  $60 \text{ cm/s}^2$  a un cuerpo de 2 kg?

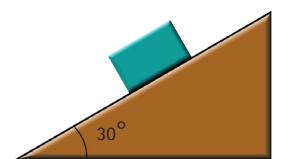
18. Considera la máquina de la figura en la cual:  $m_1 = m_2 = 2 \text{ kg}$ , y  $m_3 = 3 \text{ kg}$ . ¿Cuál es la aceleración de  $m_3$ ?



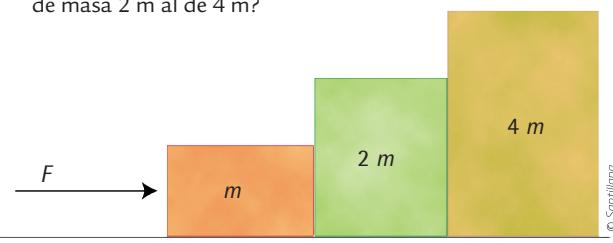
## L Lección

Realiza un gráfico de fuerzas y resuelve problemas relacionados con la segunda ley de Newton.

1. Un bloque con peso de 400 N se encuentra sobre un plano inclinado, como muestra la figura.
  - Dibuja las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.
  - Encuentra el valor de la fuerza normal, el valor de la fuerza de rozamiento y el coeficiente de rozamiento si el cuerpo desciende con velocidad constante.
  - Encuentra el valor de la fuerza normal, el valor de la fuerza de rozamiento y el coeficiente de rozamiento si el cuerpo desciende con aceleración constante de  $1 \text{ m/s}^2$ .



2. En una superficie horizontal sin fricción, reposan tres bloques de masas m, 2 m y 4 m respectivamente, que están en contacto entre sí, como se observa en la figura. Si se aplica una fuerza F sobre m, ¿qué fuerza le aplica el cuerpo de masa 2 m al de 4 m?



# Tercera ley de Newton. Acción y reacción

## POSTULADOS DE LA TERCERA LEY DE NEWTON

### Conocimientos previos

Una navegante ejerce una fuerza con su remo sobre el dique de un puerto y, como consecuencia de ello, la embarcación se separa del dique (fig. 4.40).

¿Crees que, a partir de la fuerza aplicada con el remo, el remero junto con la embarcación experimentan otra fuerza en sentido contrario a la que se aplicó sobre el dique?

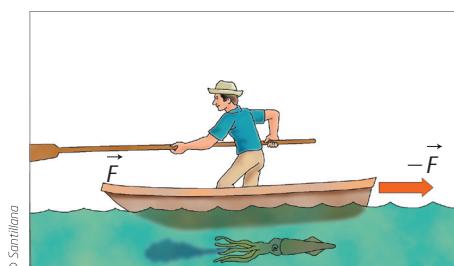


Fig. 4.40. Al empujar el dique, el remero retrocede.

Las fuerzas de acción y reacción se aplican sobre cuerpos distintos.



La tercera ley de Newton, conocida como el **principio de acción y reacción**, sintetiza este tipo de situaciones de la siguiente manera.

**Si un cuerpo ejerce una fuerza (una acción) sobre otro, el otro ejerce una fuerza de igual valor (una reacción), pero de sentido contrario sobre el primero.**

Las fuerzas de acción y reacción se aplican sobre cuerpos distintos. Así, en el ejemplo de la barca, si la acción la ejerce el navegante sobre el dique, la reacción la ejerce el dique sobre este y, en consecuencia, la barca se desplaza.

Por ejemplo, la Tierra ejerce sobre cualquier otro cuerpo una fuerza dirigida hacia abajo que es el peso del cuerpo y que hace que este caiga con la aceleración de la gravedad. Según el principio de acción y reacción, también el cuerpo ejerce una fuerza de igual módulo y de sentido contrario sobre la Tierra (fig. 4.41). Ahora bien, la aceleración que experimenta la Tierra no se percibe ya que, de acuerdo con la segunda ley de Newton, aplicando la misma fuerza, un objeto de mayor masa experimenta menor aceleración que uno de menor masa. Puesto que la masa de la Tierra es enorme ( $6 \cdot 10^{24}$  kg), la aceleración que experimenta es mínima.

Cuando dos cuerpos interactúan mutuamente se ejercen fuerzas de igual módulo pero de sentido contrario, llamadas *acción* y *reacción*, respectivamente. Cualquiera de las dos fuerzas puede ser la acción y la otra, la reacción.

Por ejemplo, en el caso del peso del objeto, la acción podría ser la fuerza de la Tierra sobre este y la reacción, la fuerza que ejerce el objeto sobre la Tierra, o bien podría ser al contrario.

Las fuerzas de acción y reacción entre pares de cuerpos, aunque sean de igual módulo y de sentido contrario, no ocasionan que el conjunto esté en reposo o que se mueva con velocidad constante, ya que, cada una actúa sobre un cuerpo distinto y, por tanto, ninguno de los dos puede estar en reposo, a menos que existan otras fuerzas que contrarresten a las anteriores.

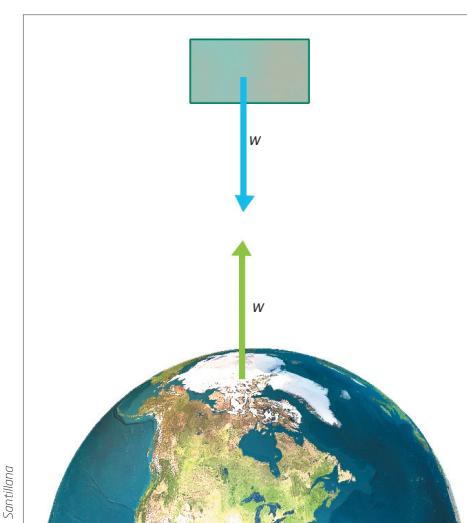


Fig. 4.41. Así como la Tierra atrae a los cuerpos, estos también ejercen una acción sobre el planeta. No obstante, debido a la gran masa terrestre, esta fuerza no es perceptible.

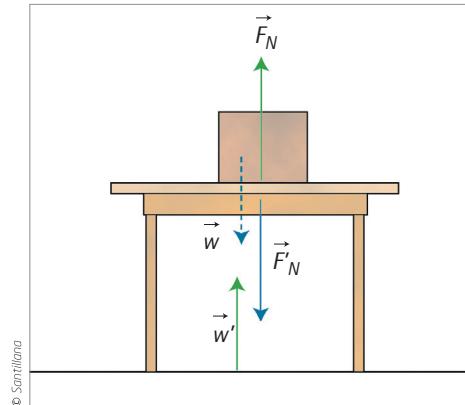


Fig. 4.42. La pareja de fuerzas  $\vec{w}$  y  $\vec{F}_N$  hacen que el cuerpo permanezca en equilibrio, pero no constituyen una pareja de acción y reacción, puesto que actúan sobre el mismo cuerpo.

Mucha veces se confunde una pareja de tipo acción y reacción con otras parejas de fuerzas que mantienen en equilibrio a algún cuerpo. Por ejemplo, consideremos un bloque situado sobre una mesa (fig. 4.42). Sobre el bloque se ejercen dos fuerzas. Por un lado el peso,  $\vec{w}$ , y, por otro lado, la fuerza  $\vec{F}_N$ , dirigida hacia arriba y con igual módulo que  $\vec{w}$ . La fuerza  $\vec{F}_N$  es ejercida por la mesa, que es la que mantiene en reposo al bloque e impide que se acelere precipitándose hacia el suelo. Es evidente que estas dos fuerzas no forman una pareja de acción y reacción, pues ambas actúan sobre el bloque.

Ahora bien, el bloque ejerce una fuerza de atracción  $\vec{w}'$  sobre la Tierra, fuerza que está dirigida hacia arriba y tiene el mismo módulo que el peso  $\vec{w}$ . De esta forma,  $\vec{w}$  y  $\vec{w}'$  forman una pareja de acción y reacción. Además el bloque ejerce una fuerza vertical y hacia abajo,  $\vec{F}_N'$ , sobre la mesa, fuerza que también tiene en este caso el mismo módulo que el peso y que, junto con  $\vec{F}_N$ , forma otra pareja de acción y reacción.

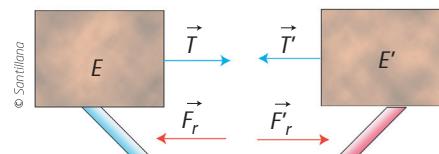
Si el bloque fuera muy pesado, la fuerza  $\vec{F}_N'$  podría llegar a romper la mesa, rompiendo así el equilibrio y haciendo desaparecer la pareja de acción y reacción formada por  $\vec{F}_N'$  y  $\vec{F}_N$ .

### Ejemplo

Construye un esquema de fuerzas y muestra que, a pesar de la tercera ley de Newton, el juego de la cuerda entre dos equipos de personas puede tener un ganador.

#### Solución

Consideremos que cada equipo,  $E$  y  $E'$ , actúa como un solo cuerpo, que representaremos como un bloque apoyado en el suelo mediante una barra inclinada, cuyo fin es simular la oposición de las piernas. Sobre el equipo  $E$ , se ejerce una tensión  $\vec{T}$ , que describe la fuerza realizada por el equipo  $E'$  a través de la cuerda. Así mismo, sobre el equipo  $E'$  se ejerce una tensión  $\vec{T}'$ , que describe la fuerza que ejerce el equipo  $E$  a través de la cuerda. Cada equipo tiene la posibilidad de halar ya que existen fuerzas de rozamiento,  $\vec{F}_r$  y  $\vec{F}'_r$  originadas en la interacción de los zapatos con el suelo. Mientras no gane ningún equipo, las fuerzas  $\vec{T}$  y  $\vec{F}_r$  deberán ser iguales, así como también lo serán las fuerzas  $\vec{T}'$  y  $\vec{F}'_r$ . Cuando la tensión que experimenta uno de los dos equipos supere la fuerza de rozamiento que él mismo experimenta, dicho equipo será el perdedor. Observa que podríamos establecer varias parejas de acción y reacción, sin embargo esto no es condición para que no haya un ganador.



### L Lección

Resuelve este problema. Un caballo tira de una carreta y la pone en movimiento. Según el principio de acción y reacción, la fuerza que aplica el caballo sobre la carreta es de igual módulo y sentido contrario a la que ejerce la carreta sobre el caballo. ¿Por qué esto no implica que los dos cuerpos, caballo y carreta, deban permanecer en reposo?

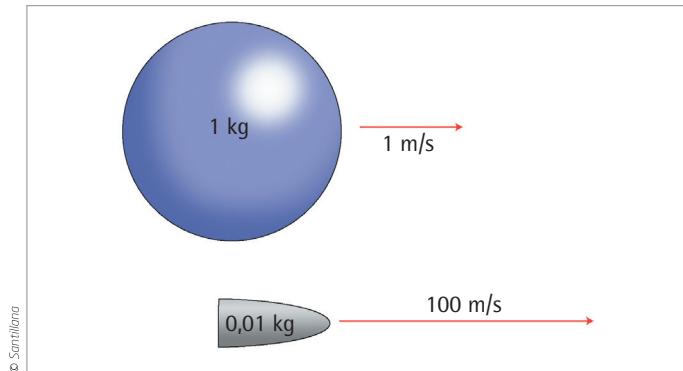


Fig. 4.43. La esfera tiene una masa cien veces mayor que la bala, pero se mueve más despacio.

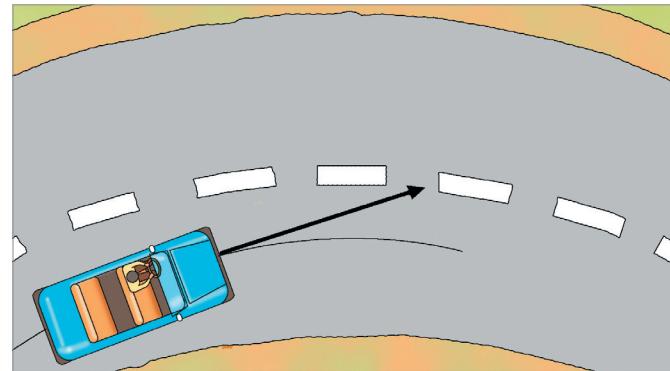


Fig. 4.44. El sentido de la cantidad de movimiento coincide con el de la velocidad del móvil.

## CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Un objeto en movimiento opone resistencia sobre otro que intente detenerlo. Así mismo, resulta más difícil detener un objeto cuanto más rápido se mueva o cuanto mayor sea su masa. Por ejemplo, detener un objeto de 1 kg que se mueve a una velocidad de 1 m/s, puede resultar tan difícil como detener un objeto de 0,01 kg con velocidad de 100 m/s (**fig. 4.43**).

Para caracterizar el movimiento de un cuerpo, debemos referirnos a su masa y a su velocidad. La relación entre masa, velocidad y movimiento se conoce como **cantidad de movimiento lineal** o **momentum lineal** de un cuerpo y fue definida por Newton en la siguiente manera.

**La cantidad de movimiento es la medida del mismo, que nace de la velocidad y de la cantidad de materia, conjuntamente.**

El momentum lineal o cantidad de movimiento lineal,  $\vec{p}$ , de un cuerpo se define como el producto de la masa del cuerpo por la velocidad y se expresa como sigue.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

La unidad de cantidad de movimiento lineal en el S.I. se expresa de la siguiente manera.

$$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Al ser el producto de una magnitud escalar (la masa,  $m$ ) por una magnitud vectorial (la velocidad,  $\vec{v}$ ), se concluye que la cantidad de movimiento es un vector, cuya dirección y sentido coinciden con los de la velocidad. Esto quiere decir que se trata de un vector tangente en cada punto a la trayectoria descrita por el cuerpo (**fig. 4.44**).

Un cuerpo aumenta su cantidad de movimiento como resultado de las fuerzas que producen una aceleración, aumentando así su velocidad. Podríamos pensar que un objeto también aumenta la cantidad de movimiento si su masa aumenta, y si mantiene una misma velocidad. De manera análoga, un objeto disminuye la cantidad de movimiento cuando disminuye la velocidad o disminuye la masa, sin variar su velocidad.



### Tc Trabajo cooperativo

Plantea, junto con un compañero, un ejemplo de dos cuerpos que tengan la misma cantidad de movimiento, pero que uno de ellos se traslade a una velocidad equivalente a la mitad de la del otro. ¿Cómo son sus masas?



## IMPULSO MECÁNICO

Newton estableció que la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es igual a la variación por unidad de tiempo de la cantidad de movimiento de dicho cuerpo. Esto, se expresa matemáticamente como:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = \frac{\vec{\Delta p}}{\Delta t}$$

Esto quiere decir que, cuanto más intensa es una fuerza, más rápido cambia la cantidad de movimiento del objeto.

Como la (fig. 4.45) muestra a un objeto que en el instante  $t = 0$  s tiene una cantidad de movimiento inicial,  $\vec{p}_o = m \cdot \vec{v}_o$ , y en un instante posterior  $t$ , tiene una cantidad de movimiento igual a  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ . Entonces, la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = \frac{\vec{p} - \vec{p}_o}{\Delta t} = \frac{m \cdot \vec{v} - m \cdot \vec{v}_o}{\Delta t}$$

que equivale a decir:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = m \cdot \frac{\vec{v} - \vec{v}_o}{\Delta t}$$

Lo cual concuerda con la ecuación fundamental de la dinámica ( $\vec{F}_{\text{neta}} = m \cdot \vec{a}$ ) a la que llamamos la segunda ley de Newton no se encuentra en los *Principios* de Newton y solo apareció varias décadas después en la obra del matemático suizo **Leonhard Euler** (1707-1783).

A partir de las ecuaciones anteriores, podemos afirmar que si la fuerza neta es constante, entonces:

$$\vec{F}_{\text{neta}} \cdot \Delta t = \vec{p} - \vec{p}_o$$

El producto de la fuerza que actúa sobre un cuerpo, por el tiempo durante el cual está actuando, recibe el nombre de **impulso mecánico**,  $\vec{I}$ . Por tanto,

$$\vec{I} = \vec{p} - \vec{p}_o$$

$$\vec{I} = \vec{F}_{\text{neta}} \cdot \Delta t$$

Es decir, que la variación de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual al valor del impulso que actúa sobre el cuerpo. Esta relación permite explicar que fuerzas débiles que actúan durante un intervalo de tiempo largo (fig. 4.46), pueden producir efectos comparables con los de fuerzas intensas que actúan durante intervalos de tiempo cortos (fig. 4.47).

El impulso se expresa en el S.I. en  $\text{N} \cdot \text{s}$ . Por tanto, como el impulso es el cambio en la cantidad de movimiento, la cantidad de movimiento se puede expresar también como  $\text{N} \cdot \text{s}$ .



Fig. 4.46. Para un gran impulso, si  $\Delta t$  es pequeño,  $F$  será grande.



Fig. 4.47 Para un gran impulso, si  $\Delta t$  es grande,  $F$  será pequeña.

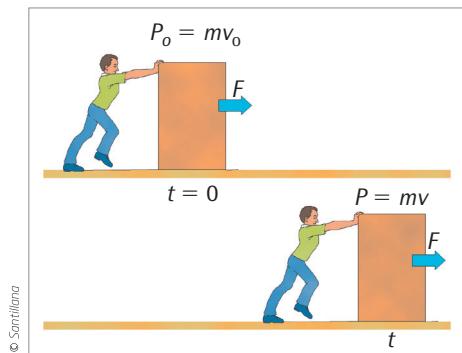


Fig. 4.45. La fuerza  $F$ , aplicada sobre un objeto produce un cambio en la cantidad de movimiento.

© Santillana



### Tarea

Demuestra que la unidad  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$  es equivalente a la unidad  $\text{N} \cdot \text{s}$ .

© Santillana

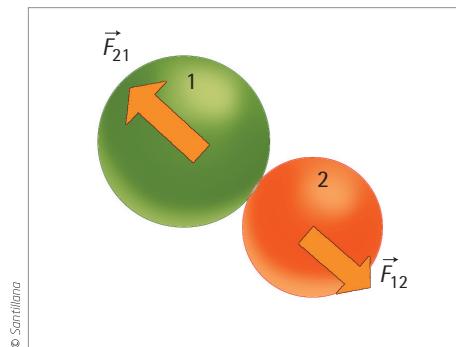


Fig. 4.48. Acción entre dos cuerpos, 1 y 2.

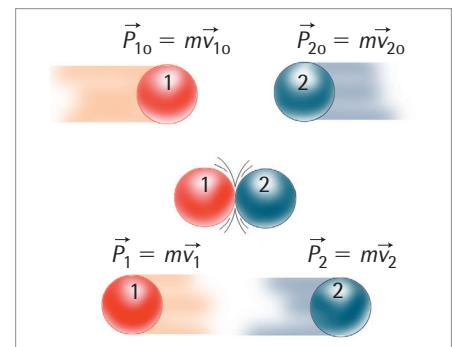


Fig. 4.49. En la interacción de los dos cuerpos se conserva la cantidad de movimiento.

## CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Considera un sistema como el que se muestra en la (fig. 4.48), formado por dos cuerpos que solo experimentan las fuerzas que actúan sobre cada uno como resultado de unas acciones mutuas entre ellos. En este caso, decimos que los dos cuerpos conforman un sistema aislado. Un sistema es aislado cuando la fuerza neta procedente del exterior, llamada **fuerza externa**, es cero.

De acuerdo con el principio de acción y reacción, la fuerza que ejerce el cuerpo 1 sobre el cuerpo 2 ( $F_{12}$ ) es de igual valor y de sentido contrario a la fuerza que ejerce el cuerpo 2 sobre el cuerpo 1 ( $F_{21}$ ). Es decir,  $F_{12} = -F_{21}$

Teniendo en cuenta que, de acuerdo con la segunda ley de Newton expresada en términos de la cantidad de movimiento,  $\vec{p}$ , la fuerza es igual a la variación de la cantidad de movimiento con respecto al tiempo, tendremos que las fuerzas que experimentan los objetos 1 y 2 valen, respectivamente:

$$\vec{F}_{21} = \frac{\vec{\Delta p}_1}{\Delta t} \text{ y } \vec{F}_{12} = \frac{\vec{\Delta p}_2}{\Delta t}. \text{ Por tanto, } \frac{\vec{\Delta p}_2}{\Delta t} = -\frac{\vec{\Delta p}_1}{\Delta t}$$

Como el tiempo durante el cual el objeto 1 ejerce fuerza sobre el objeto 2 es el mismo durante el cual el objeto 2 ejerce fuerza sobre el objeto 1, tenemos que los cambios de las cantidades de movimiento (fig. 4.49) se relacionan mediante la expresión:  $\vec{\Delta p}_2 = -\vec{\Delta p}_1$ .

Es decir,  $\vec{p}_2 - \vec{p}_{20} = -(\vec{p}_1 - \vec{p}_{10})$

Esto significa que una disminución en la cantidad de movimiento del objeto 1 se manifiesta como un aumento de la cantidad de movimiento del objeto 2.

Dicho de otra manera,  $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_{10} + \vec{p}_{20} = \text{constante}$ .

Este resultado muestra que la suma de las cantidades de movimiento de dos objetos que conforman un sistema aislado, antes de que interactúen, es igual a la suma de las cantidades de movimiento de los dos objetos, después de la interacción.

Este resultado se conoce como el **principio de conservación de la cantidad de movimiento lineal** y ha sido enunciado de la siguiente manera:

**La cantidad de movimiento de un sistema aislado permanece constante.**

Una de las explicaciones del principio de conservación de la cantidad de movimiento lineal es la tercera ley de Newton, válido para un sistema aislado que contenga dos o más partículas, ya que las fuerzas son aditivas; es decir, que dentro de un sistema, por ejemplo con tres partículas que interactúan, cada una experimenta como fuerza la suma de las fuerzas que le ejercen las otras dos. Se debe aclarar que la tercera ley no es válida para todos los casos, pero la ley de conservación de la cantidad de movimiento si es válida para todos los casos.



Si dos cuerpos de diferentes masas se dirigen frontalmente con la misma rapidez, uno hacia el otro, hasta chocar, ¿cómo será la rapidez de cada uno después del choque?



## Ejemplos

1. Un fusil de 4,5 kg de masa, dispara una bala de 20 g, imprimiéndole una velocidad de 200 m/s (fig. 4.50). ¿Con qué velocidad retrocede el fusil?

### Solución

Veamos los cambios ocurridos en la cantidad de movimiento paso por paso.

- Antes del disparo. La cantidad de movimiento inicial del sistema fusil-bala,  $p_{\text{antes}}$  es 0.
- Después del disparo. La cantidad de movimiento final del sistema masa-fusil es:

$$\vec{p}_{\text{después}} = \vec{p}_{\text{fusil}} + \vec{p}_{\text{bala}} = m_{\text{fusil}} \cdot \vec{v}_{\text{fusil}} + m_{\text{bala}} \cdot \vec{v}_{\text{bala}}$$

$$p_{\text{después}} = 4,5 \text{ kg} \cdot v + 0,020 \text{ kg} \cdot 200 \text{ m/s} = 4,5 \text{ kg} \cdot v + 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

El principio de conservación de la cantidad de movimiento, nos dice que las cantidades de movimiento antes y después del disparo deben ser iguales. Por tanto,  $4,5 \text{ m/s} \cdot v + 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0$ , por tanto,  $v = -0,89 \text{ m/s}$

El signo negativo indica que el movimiento del fusil es de retroceso.

La velocidad del fusil es, entonces, 0,89 m/s en sentido contrario al movimiento de la bala.

2. Determina el impulso que experimenta un acróbatas, cuya masa es 70 kg, cuando cae a una plataforma elástica, desde una altura de 2,0 m.

### Solución

La altura desde la cual cae se obtiene a partir de:

$$y = v_0 \cdot t + 1/2 \cdot g \cdot t^2$$

De donde obtenemos la siguiente ecuación:

$$-2,0 \text{ m} = -1/2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot t^2, \text{ luego, } t = 0,6 \text{ s}$$

La velocidad que lleva justo antes de tocar la plataforma es:

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

$$\text{Luego, } v = -9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,6 \text{ s} = -5,9 \text{ m/s}$$

Esto significa que, antes de tocar la plataforma, su cantidad de movimiento es:

$$p_0 = 70 \text{ kg} \cdot (-5,9 \text{ m/s}) = -413 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

La cantidad de movimiento una vez ha tocado la plataforma es  $p = 0$ , por tanto, su cantidad de movimiento cambia de  $-413 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  a 0. Es decir, que el impulso con el cual salta nuevamente está dado por:

$$I = \Delta p = p - p_0 = 0 - (-413 \text{ kg} \cdot \text{m/s}) = 413 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

El impulso recibido es de 413 kg · m/s, hacia arriba.

## L Lección

Resuelve los problemas.

1. Una granada de 4 kg, inicialmente en reposo, estalla en dos trozos, uno de los cuales, de 2,5 kg, sale disparado hacia la derecha a 120 m/s. Calcula la velocidad y el sentido del movimiento del segundo trozo.
2. La masa de un balón de fútbol es de 450 g. El tiempo de contacto de un puntapié para que el balón salga con una velocidad de 20 m/s es de  $8 \cdot 10^{-3}$  s. Determina el impulso producido por el puntapié y la fuerza ejercida sobre el balón.



## T Tarea

Imagina que te encuentras en el centro de un estanque congelado que carece de rozamiento y, por tanto, no puedes caminar sobre él. ¿Qué harías para llegar a una de las orillas?

## SISTEMAS DE PROPULSIÓN



Fig. 4.51. Lanzamiento de un cohete.

Una de las aplicaciones del principio de acción y reacción es la **propulsión a chorro** (fig. 4.51). Los gases que escapan del combustible quemado son expulsados por la parte posterior de un cohete, el cual recibe una aceleración hacia adelante debido a la fuerza que ejercen los gases al salir del motor.

Analicemos la situación en términos de la conservación de la cantidad de movimiento. Si un cohete despega a partir del reposo, en cualquier instante posterior, la cantidad de movimiento total de los gases que escapan debe ser de igual módulo y de sentido contrario a la del cohete.

Cuando el cohete expulsa los gases, además de recibir aceleración por efecto de la reacción a la fuerza que le ejercen los gases, disminuye su masa. Esto ocasiona un aumento adicional en la aceleración. En el despegue de un cohete, los gases son expulsados a miles de metros por segundo. La velocidad de salida de los gases y la masa de ellos es aproximadamente constante, lo cual significa que la fuerza que actúa sobre el cohete es constante, pero debido a la progresiva disminución de masa total del cohete, la aceleración de este es cada vez mayor.

Con el fin de reducir aún más la masa de un cohete durante el vuelo y así aumentar la velocidad del mismo, se construyen cohetes de varias etapas. En la medida en que se va alcanzando cada etapa, el cohete se separa de una de sus partes y así va adquiriendo cada vez mayor velocidad.

### I Investiga

¿Un cohete despega debido a que los gases que escapan lo empujan contra la plataforma?



### T Tarea

Determina la velocidad de la nave del ejercicio resuelto, si nuevamente expulsa por la parte trasera otra masa de gas de 50 kg, también a 3 000 m/s.

### Ejemplo

Imagina una nave espacial de masa 1 000 kg, que se mueve a una velocidad  $v_i = 250$  m/s, muy lejos en el espacio, donde ninguna fuerza actúa sobre ella y que expulsa, por la parte trasera, una masa de gases de 50 kg, con velocidad  $v_m = 3 000$  m/s. Determina la velocidad de la nave después de un evento de expulsión de gases.

#### Solución

Antes de la expulsión de los gases, la cantidad de movimiento del sistema es:

$$p = 1\,000 \text{ kg} \cdot 250 \text{ m/s} = 250\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Después de la expulsión de la masa de gas, la cantidad de movimiento debe ser igual a la cantidad de movimiento que se tenía antes. Por tanto,

$$m_{\text{nave}} \cdot v_{\text{nave}} + m_{\text{expulsada}} \cdot v_m = 250\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

De donde,  $950 V - 50(3\,000) = 250\,000$

$$V = \frac{250\,000 + 150\,000}{950} = \frac{400\,000}{950} = 421 \text{ m/s}$$

Luego,

$$v_{\text{nave}} = 421 \text{ m/s}$$

Es decir, que la velocidad de la nave aumentó 194 m/s

## COLISIONES

Comúnmente observamos cómo uno o más objetos chocan, por ejemplo, unas bolas de billar o unos automóviles. A nivel microscópico, la materia se comporta de forma similar. Por ejemplo, las moléculas de un gas colisionan entre sí continuamente.

En general, decimos que una colisión es una interacción entre objetos, en la que hay transferencia de la cantidad de movimiento entre los objetos involucrados.

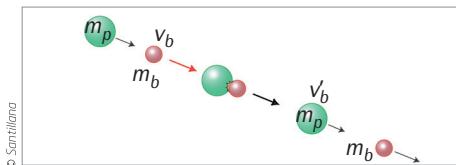


Fig. 4.52. Colisión entre la esfera y el objeto.

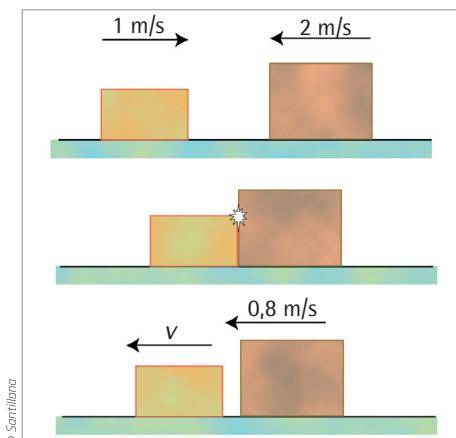
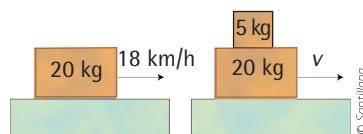


Fig. 4.53. Después del choque los objetos tienen diferente velocidad.

## L Lección

Resuelve los problemas.

1. Un cuerpo de 20 kg se desplaza en línea recta a 18 km/h. Si, en un momento dado, muy suavemente, se coloca sobre él otro cuerpo de 5 kg, ¿cuál es la velocidad del conjunto?



2. De dos bloques de masa de 0,5 kg, se mueven con velocidades de 2 m/s y 1 m/s, respectivamente en la misma dirección.

Inmediatamente antes de chocar, el que se mueve a 2 m/s va detrás del que se traslada a 1 m/s. Si, después del choque, el que iba a 2 m/s reduce su velocidad a la mitad, ¿con qué velocidad se mueve el otro bloque?

Así, en ausencia de fuerzas externas, la cantidad de movimiento del sistema conformado por los objetos que interactúan, antes de la colisión, debe ser igual a la cantidad de movimiento después de la colisión. Es decir, cuando ocurre una colisión, para la cantidad de movimiento total, se cumple que:

$$\vec{p}_{\text{antes}} = \vec{p}_{\text{después}}$$

### Ejemplos

1. Sobre una pista de hielo se lanza una esfera de 1 kg, con una velocidad de 10 m/s. Durante el movimiento, la bola choca frontalmente con un pequeño objeto en reposo. Debido al choque, la velocidad de la esfera se reduce en un 18%. Suponiendo que la masa del objeto es 100 g, calcula la velocidad que adquiere como consecuencia del impacto (fig. 4.52).

#### Solución

En virtud de la conservación de la cantidad de movimiento, resulta que la cantidad de movimiento antes de la colisión debe ser igual a la cantidad de movimiento después de la colisión. En otros términos,

$$m_e \cdot \vec{v}_e \text{ antes} + m_o \cdot \vec{v}_o \text{ antes} = m_e \text{ después} \cdot \vec{v}_e \text{ después} + m_o \text{ antes} \cdot \vec{v}_o \text{ después}$$

De donde,  $1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s} + 0,1 \text{ kg} \cdot 0 = 1 \text{ kg} \cdot 8,2 \text{ m/s} + 0,1 \text{ kg} \cdot v_o \text{ después}$

Por tanto,  $v_o \text{ después} = 18 \text{ m/s}$

La velocidad del pequeño objeto después de la colisión es de 18 m/s

2. Dos bloques de masas 1 kg y 2 kg, respectivamente, se mueven uno hacia el otro con velocidades de 1 m/s y 2 m/s (fig. 4.53). Si inmediatamente después de chocar, el bloque de masa 2 kg se mueve con velocidad de 0,8 m/s en la dirección en que se movía inicialmente, determina la velocidad del bloque de 1 kg.

#### Solución

La cantidad de movimiento del sistema antes del choque está dada por la expresión:  $\vec{p}_{\text{antes}} = \vec{p}_{1\text{antes}} + \vec{p}_{2\text{antes}}$

$$p_{\text{antes}} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \cdot (-2 \text{ m/s}) = -3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

La cantidad de movimiento del sistema después del choque es:

$$p_{\text{después}} = 1 \text{ kg} \cdot v + 2 \text{ kg} \cdot (-0,8 \text{ m/s}) = 1 \text{ kg} \cdot v - 1,6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Atendiendo al principio de conservación de la cantidad de movimiento:

$$1 \text{ kg} \cdot v - 1,6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Luego,  $v = -1,4 \text{ m/s}$

Después del choque, el bloque de 1 kg se mueve con velocidad de 1,4 m/s, en sentido contrario al anterior al choque.

Observa que hemos desarrollado los dos ejemplos anteriores sin tener en cuenta la fuerza de rozamiento entre los objetos y las superficies sobre las cuales se encuentran. Si asumimos que la fuerza de rozamiento es muy pequeña, comparada con la fuerza que se ejercen los bloques entre sí, podemos prescindir de su efecto, para calcular la velocidad y los valores de  $\vec{p}$ . Puesto que la cantidad de movimiento es un vector, cuando consideramos situaciones bidimensionales (por ejemplo, un choque sobre una superficie plana), debemos referir los choques al plano cartesiano y, por tanto, tener en cuenta las componentes de la cantidad de movimiento.

## Ejemplos

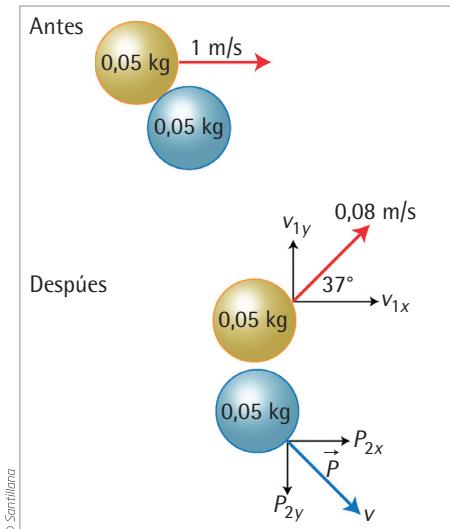


Fig. 4.54. Choque no frontal entre dos esferas.

© Santillana

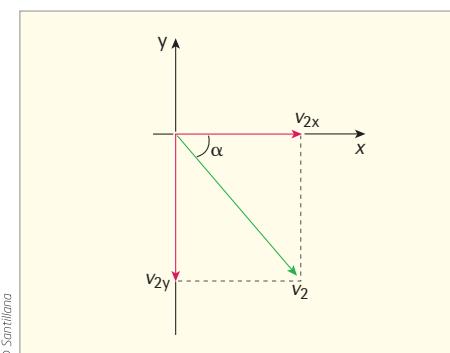


Fig. 4.55. Velocidad de la esfera 2 después del choque.

1. Una esfera de 0,05 kg se mueve con velocidad de 1 m/s y choca de manera no frontal con otra esfera de igual masa en reposo. Después de la colisión, la primera se desvía  $37^\circ$  de la dirección inicial y se mueve con velocidad de 0,8 m/s. Determina la velocidad de la otra esfera después del choque (fig. 4.54).

### Solución

Tomemos el eje  $x$  en la dirección inicial de la velocidad de la esfera que se mueve y supongamos que las fuerzas externas que actúan sobre las dos esferas, como la fuerza de rozamiento, son despreciables en comparación con las fuerzas que se ejercen entre ellas. Entonces:

$$\vec{p}_{\text{antes}} = \vec{p}_{\text{después}}$$

Antes de la colisión tenemos, para la esfera 1, la siguiente situación.

$$p_{1\text{antes}} x = 0,05 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s} = 0,05 \text{ m/s} \text{ y } p_{1\text{antes}} y = 0$$

Igualmente, para la esfera 2, tenemos:  $p_{2\text{antes}} x = 0$  y  $p_{2\text{antes}} y = 0$

Por tanto, expresando las diferentes componentes en  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ , tenemos:

$$\vec{p}_{\text{antes}} = (0,05, 0) + (0, 0) = (0,05, 0)$$

Después de la colisión, para la esfera 1, tenemos:

$$v_{1x} = 0,8 \text{ m/s} \cdot \cos 37^\circ = 0,64 \text{ m/s} \text{ y}$$

$$v_{1y} = 0,8 \text{ m/s} \cdot \operatorname{sen} 37^\circ = 0,48 \text{ m/s}$$

Por tanto,  $p_{1\text{después}} x = 0,05 \text{ kg} \cdot 0,64 \text{ m/s} = 0,03 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  y

$$p_{1\text{después}} y = 0,05 \text{ kg} \cdot 0,48 \text{ m/s} = 0,02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

De donde obtenemos  $p_{1\text{después}} = (0,03, 0,02)$ , expresando las componentes en  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ .

De la misma manera, para la esfera 2:  $\vec{p}_{2\text{después}} = (p_{2x}, p_{2y})$  y

$\vec{p}_{\text{después}} = (0,03, 0,02) + (p_{2x}, p_{2y}) = (0,03 + p_{2x}, 0,02 + p_{2y})$ , con componentes medidas en  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$

Puesto que  $p_{\text{antes}} = p_{\text{después}}$ , se deduce que:

$$(0,05, 0) = (0,03 + p_{2x}, 0,02 + p_{2y})$$

Luego,  $0,05 = 0,03 + p_{2x}$  y  $0 = 0,02 + p_{2y}$

Por tanto,  $p_{2x} = 0,02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  y  $p_{2y} = -0,02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Si  $p_{2x} = 0,02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  y  $0,05 \text{ kg} \cdot v_{2x} = 0,02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Luego,  $v_{2x} = 0,4 \text{ m/s}$

Si  $p_{2y} = -0,02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  y  $0,05 \text{ kg} \cdot v_{2y} = -0,02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Luego,  $v_{2y} = -0,4$

Así, la velocidad de la esfera 2 después de la colisión está dada por el vector:  $\vec{v} = (0,4, -0,4)$ , cuyas componentes están medidas en  $\text{m/s}$

En la (fig. 4.55), se muestra  $\tan \alpha = \frac{-0,4}{0,4} = -1$

Por tanto,  $\alpha = -45^\circ$ . El módulo de la velocidad está dado por

$$v = \sqrt{(0,4 \text{ m/s})^2 + (-0,4 \text{ m/s})^2} = 0,56 \text{ m/s}$$

La esfera 2 se mueve con velocidad de 0,56 m/s formando un ángulo de  $-45^\circ$  con la dirección inicial de la esfera 1.



2. Después de una explosión interna, un objeto de masa 4 kg, inicialmente en reposo, se divide en dos fragmentos, uno de los cuales, de masa 2,5 kg, sale proyectado hacia la derecha con velocidad de 40 m/s. Determinar la velocidad del otro fragmento después de la explosión.

Solución

Cantidad de movimiento inicial del objeto antes de la explosión es  $p_{antes} = 0$ . La cantidad de movimiento final del sistema conformado por los dos fragmentos es:

$$p_{después} = p_1 + p_2 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$$

$$p_{después} = 2,5 \text{ kg} \cdot 40 \text{ m/s} + 1,5 \text{ kg} \cdot v_2$$

$$p_{después} = 100 \text{ kg m/s} + 1,5 \text{ kg} \cdot v_2$$

De acuerdo con el principio de conservación de la cantidad de movimiento, se sostiene que:

$$p_{antes} = p_{después},$$

$$0 = 100 \text{ kg m/s} + 1,5 \text{ kg} \cdot v_2 \text{ al reemplazar y}$$

$$v_2 = -66,6 \text{ m/s} \text{ al calcular.}$$

La velocidad del segundo fragmento, después de la explosión es  $-66,6 \text{ m/s}$ . El signo menos indica que el segundo fragmento se mueve en sentido opuesto al primer fragmento.

3. Dos bolas de billar A y B de masa  $m$  se dirigen una hacia la otra, y chocan una con otra de frente. La bola A se mueve con velocidad de 2 m/s y la bola B con velocidad de 1 m/s.

a. Determinar la velocidad de la bola A si después del choque la bola B se mueve con velocidad de 0,6 m/s en dirección contraria a la inicial.

b. Construir un diagrama de vectores que ilustre el movimiento de las bolas antes y después de la colisión.

Solución

Determinamos la cantidad de movimiento de las bolas antes y después de la colisión. A la velocidad de la esfera B antes de la colisión le asignamos el signo menos, puesto

que se mueve en dirección contraria a la esfera A. Así podemos hacer los siguientes cálculos.

$$p_{antes} = p_{A\ antes} + p_{B\ antes} = m \cdot v_{A\ antes} + m \cdot v_{B\ antes}$$

$$p_{antes} = m \cdot (2 \text{ m/s} - 1 \text{ m/s})$$

$$p_{después} = p_{A\ después} + p_{B\ después}$$

$$p_{antes} = m \cdot v_{A\ después} + m \cdot v_{B\ después}$$

$$p_{después} = m \cdot (v_{A\ después} + 0,6 \text{ m/s})$$

Como:

$$p_{antes} = p_{después}$$

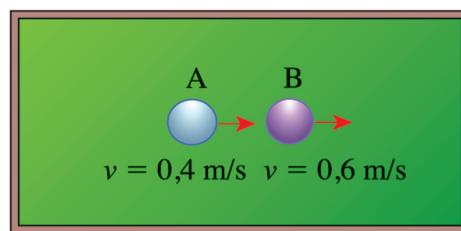
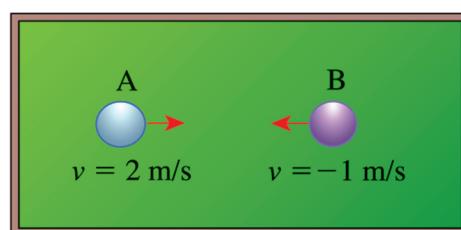
$$p_{antes} = m (v_{A\ después} + 0,6 \text{ m/s})$$

De donde:

$$2 \text{ m/s} - 1 \text{ m/s} = v_{A\ después} + 0,6 \text{ m/s}$$

$$v_{A\ después} = 0,4 \text{ m/s}$$

La velocidad de la esfera A después de la colisión es 0,4 m/s. La esfera A disminuyó su rapidez pero no cambió de dirección.



# Problemas de ampliación

Verifica conceptos relacionados con la tercera ley de Newton.

## 1. Copia las frases, complétalas.

- El principio de \_\_\_\_\_ establece que si sobre un cuerpo se realiza una fuerza (acción) este produce \_\_\_\_\_.
- Cuando dos objetos interactúan mutuamente, se ejercen fuerzas de igual módulo pero \_\_\_\_\_.
- Un sistema aislado es aquel en el que \_\_\_\_\_, por lo tanto la fuerza neta sobre el sistema \_\_\_\_\_.

## 2. Contesta las siguientes preguntas.

- ¿En qué consiste el principio de acción y reacción?
- ¿En qué consiste el principio de conservación de la cantidad de movimiento?
- ¿Qué es un sistema aislado?
- ¿Cómo funciona un sistema de propulsión a chorro?

Analiza y resuelve problemas relacionados con la tercera ley de Newton.

## 3. Aplica el principio de acción y reacción para explicar los movimientos de un nadador.

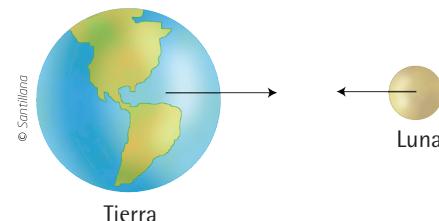
4. Hasta hace algún tiempo, resultaba imposible enviar un cohete a la Luna porque, tan pronto como abandonara la atmósfera terrestre, no habría aire que permitiera seguir impulsándolo. Sin embargo, el Apollo 11 alcanzó este objetivo. ¿Cuál es la fuerza que impulsa un cohete en el vacío?

5. El peso es la fuerza que ejerce la Tierra sobre los objetos. ¿Cuál es la fuerza de reacción correspondiente al peso tomado como acción?

6. En términos de la conservación de la cantidad de movimiento, ¿por qué retrocede un arma cuando es disparada?

7. Se sabe que la Tierra ejerce una fuerza de atracción gravitacional sobre la Luna.

Debido a la tercera ley de Newton, la Luna también ejerce una atracción gravitacional sobre la Tierra. Sin embargo, en el dibujo que ilustra este ejercicio, hay un error. ¿Cuál es?



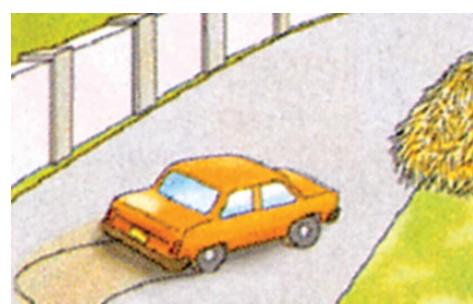
8. Si la fuerza con que la Tierra atrae una bola de plomo de 200 g es el doble que la fuerza con la que atrae a otra bola de plomo de 100 g, ¿por qué, cuando se dejan caer a la vez las dos desde la misma altura, no se observa que la de doble peso, llegue en menor tiempo al suelo?

9. Analiza la siguiente proposición que parece contradecir el principio de acción y reacción.

Es evidente que la Tierra atrae a los cuerpos, pero no se observa que los cuerpos atraigan a la Tierra. Así, por ejemplo, vemos cómo un cuerpo cae hacia el suelo atraído gravitatoriamente por la Tierra, pero no parece que el suelo se mueva para nada hacia dicho cuerpo.

10. Un patinador se encuentra en reposo, de pie sobre la pista de hielo. Otro patinador viene hacia el primero y lo golpea. Si el peso de los patinadores es el mismo, entonces, ¿qué ocurre con el segundo patinador después del golpe?

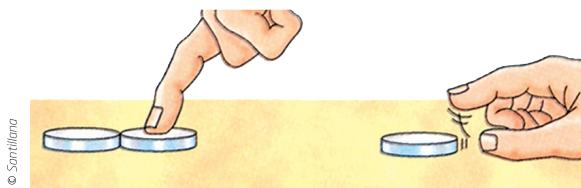
11. Imagina que vas en un auto que ha perdido el control y que tienes la opción de chocar contra un montón de paja o contra una pared de concreto, como se observa en la figura. ¿Con cuál objeto crees que es mejor chocar?



© Santillana



12. Coloca dos monedas, una junto a la otra, como se observa en la figura. Sujeta con el dedo una de las monedas y, finalmente, impulsa una tercera moneda de tal manera que choque con la que has sujetado. ¿Qué ocurre con la moneda que estaba junto a la otra después del choque? ¿Qué ocurre con la moneda que inicialmente fue impulsada?

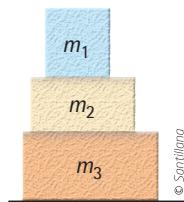


13. Un niño patea una piedra, ejerciendo sobre ella una fuerza de 20 N. Responde las preguntas.

- ¿Cuál es el valor de la reacción a esta fuerza?
- ¿Quién ejerce la fuerza de reacción?

14. Una persona empuja una caja con una fuerza de 20 N. ¿Cuál es la fuerza de reacción de la caja sobre la persona?

15. Tres bloques de masas ( $m_1 = 2$  kg,  $m_2 = 4$  kg y  $m_3 = 6$  kg), están colocados sobre una mesa, como se muestra en la figura. Dibuja todas las fuerzas de acción y reacción presentes en el sistema y describe los pares de fuerza acción-reacción.

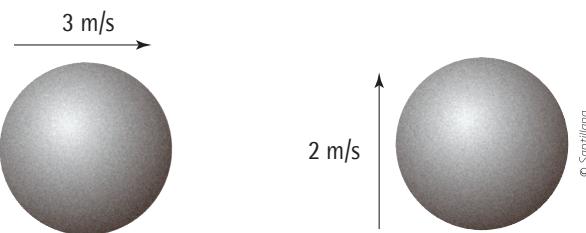


16. El mejor tiempo alcanzado en una carrera de 100 metros planos es 8,6 segundos. ¿Cuál es la cantidad de movimiento promedio de un corredor de 60 kg, que termina la carrera en dicho tiempo?

17. Una bola de billar de 200 g se mueve con una rapidez de 12 m/s y choca con la banda formando un ángulo de  $30^\circ$ . Si rebota con una velocidad de 10 m/s y un ángulo de  $45^\circ$ , entonces, ¿cuál es el cambio en la cantidad de movimiento?

18. Un arma de 3 kg dispara una bala de  $2 \cdot 10^{-3}$  kg, con velocidad de 480 m/s. ¿Cuál es la velocidad de retroceso del arma?

19. Dos esferas se mueven en direcciones perpendiculares con velocidades de 2 m/s y 3 m/s, respectivamente. Cuando chocan, quedan unidas. Determina la velocidad (módulo y dirección) a la que se mueven después del choque.



## L Lección

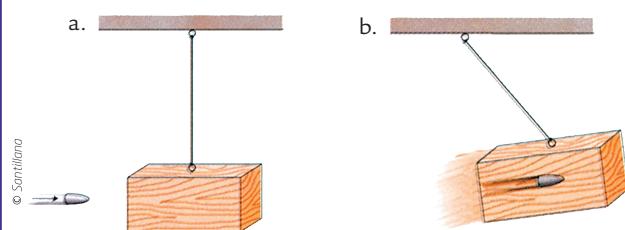
Analiza y resuelve problemas relacionados con la tercera ley de Newton.

1. Una bala de 10 gramos de masa se mueve con velocidad de 100 m/s y se dirige hacia un bloque de masa 10 kg que se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal, como muestra la figura. El coeficiente de rozamiento entre el bloque y la superficie es de 0,4. Si la bala se incrusta en el bloque, determina:

- La velocidad con la que se mueve el conjunto bala-bloque inmediatamente después del impacto.
- La distancia que recorre el conjunto hasta quedar detenido.



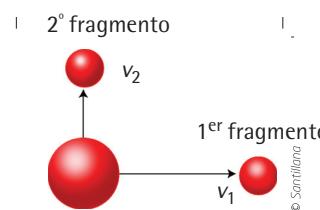
2. Considera que una bala de masa  $m$  es disparada y choca contra un bloque de masa  $M$ , suspendido de un cable, como se muestra en la figura a. Después del choque, la bala queda incrustada en el bloque; este se eleva a una altura  $h$  como muestra la figura b. Expresa la velocidad de la bala antes de que choque contra el bloque en función de las masas y de la altura  $h$ .



## Actividades

Verifica conceptos relacionados con la tercera ley de Newton.

1. **Explica por qué si la suma de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es cero su cantidad de movimiento permanece constante.**
2. **Un objeto explota en tres fragmentos de igual masa. Si la velocidad del fragmento 1 es el doble de la de un segundo fragmento y estas velocidades son perpendiculares entre sí, ¿cuál es la dirección de la velocidad del tercer fragmento?**



Analiza y resuelve problemas relacionados con la tercera ley de Newton.

3. **Una pelota de tenis de 57 g de masa choca contra una raqueta a una velocidad de 25 m/s y rebota con velocidad de 12 m/s. ¿Cuál es la fuerza promedio sobre la raqueta si el contacto entre esta y la pelota dura 0,01 s?**
4. **Una granada, inicialmente en reposo, estalla en dos fragmentos. ¿En qué dirección salen los fragmentos?**
5. **Si el primer fragmento de la granada de la pregunta anterior tiene una masa igual al doble de la del segundo fragmento, ¿cómo se relacionan sus velocidades?**
6. **¿Por qué no podemos levantar el asiento sobre el que estamos sentados con solo ejercer con nuestras manos una fuerza hacia arriba desde la superficie inferior del asiento?**
7. **Si la cantidad de movimiento se conserva, ¿qué sucede con la cantidad de movimiento de un objeto que va deslizándose sobre el suelo y frena?**
8. **¿De qué manera deben mover la cabeza los boxeadores cuando alcanzan a prever que van a recibir un golpe directo a la cara?**
9. **¿Por qué los jugadores de béisbol prolongan su movimiento de balanceo en el momento de hacer el lanzamiento de la bola?**

10. **Un objeto de masa de 4 kg, inicialmente en reposo, estalla dividiéndose en tres fragmentos. Dos de los fragmentos, cada uno de 1 kg de masa, salen con velocidad de 10 m/s, formando entre sí un ángulo de 90°. Determina el módulo y la dirección de la velocidad del tercer fragmento.**

## I Investiga

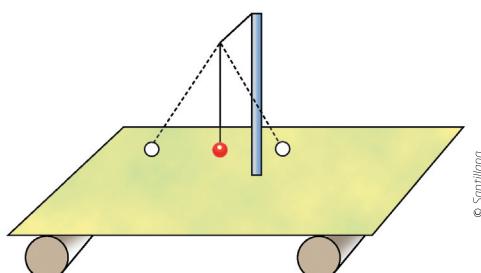
Investiga conceptos relacionados con la tercera ley de Newton.

1. **¿Por qué una persona situada de pie sobre una superficie de hielo puede resbalar e, incluso, llegar a caer si empuja una pared?**
2. **Si las fuerzas de acción y reacción son de igual módulo y de sentidos contrarios, ¿por qué no se anulan entre sí provocando el equilibrio de los cuerpos?**
3. **Sobre un carrito que inicialmente se mueve a una determinada velocidad, se colocan suavemente bloques, uno por uno. ¿Qué sucede con la velocidad cada vez que se añade un bloque?**

## L Lección

Analiza y resuelve problemas relacionados con la tercera ley de Newton.

1. **Dos esferas de igual masa se mueven a 1 m/s en direcciones perpendiculares entre sí, una hacia el norte y la otra hacia el este. Después de chocar, las dos esferas quedan unidas. Describe la velocidad del conjunto después de la colisión.**
2. **Enuncia el principio de inercia en términos de la cantidad de movimiento.**
3. **¿Los cohetes necesitan del aire que los rodea para impulsarse? ¿Qué pasa en el espacio vacío?**
4. **Se coloca un cartón sobre un par de rodillos y, sobre él, se coloca un soporte liviano que sostiene un péndulo. Al hacer oscilar el péndulo, el carrito se mueve hacia adelante y hacia atrás. Explica este hecho.**



- Analiza situaciones concretas usando las leyes de Newton.

0,5  
puntos

- Responde: ¿Por qué hay que aplicar más fuerza para empujar un carro cuando está quieto que cuando se mueve con velocidad constante?
- La fuerza de rozamiento puede ser estática o cinética. ¿Cuál de las dos es mayor y por qué?

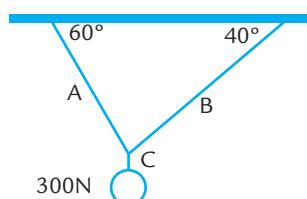
1  
punto

- Una esfera A de masa 0,5 kg se mueve con velocidad de 2 m/s y choca de manera no frontal con otra esfera B de masa 0,8 kg que se encuentra en reposo. Después de la colisión, la esfera A se desvía  $30^\circ$  con respecto a su dirección inicial y se mueve con velocidad de 1 m/s. Determina la velocidad de la esfera B después del choque.

- Reconoce las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y las dibuja usando diagramas de cuerpo libre.

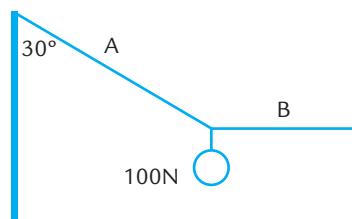
2  
puntos

- Una pelota de 300 N cuelga atada a otras dos cuerdas, como se observa en la figura. Encuentra las tensiones en las cuerdas A, B y C.



2  
puntos

- Una pelota de 100 N, suspendida por una cuerda A, es tirada hacia un lado en forma horizontal mediante otra cuerda B. Está sostenida de tal manera que la cuerda A forma un ángulo de  $30^\circ$  con el poste vertical. Encuentra las tensiones en las cuerdas A y B.



#### Autoevaluación (Metacognición)

- Explica, mediante un ejemplo, las tres leyes de Newton y sus aplicaciones.
- ¿Cómo explicarías que la cantidad de movimiento de un sistema aislado permanece constante?

2  
puntos

- Una fuerza F se ejerce directamente hacia arriba sobre el eje de la polea. La polea y el cable carecen de masa. Dos objetos, de masas  $m_1 = 1,2$  kg y  $m_2 = 1,9$  kg, están unidos a los extremos opuestos del cable, el cual pasa por la polea. El bloque  $m_2$  está en contacto con el piso.

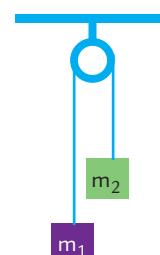
- ¿Cuál es el valor más grande que la fuerza F puede tener de modo que  $m_2$  permanezca en reposo sobre el piso?
- ¿Cuál es la tensión en el cable cuando la fuerza F hacia arriba es de 110 N?
- ¿Cuál es la aceleración de  $m_1$ ?



2  
puntos

- Una cuerda ligera pasa sobre una polea sin fricción, como se muestra en la siguiente figura. Las masas  $m_1$  y  $m_2$  están atadas a cada extremo de la cuerda.

- Calcula la fuerza resultante del sistema, si  $m_1 = 15$  kg y  $m_2 = 8$  kg
- Calcula la masa total.
- Determina la aceleración del sistema.
- Responde: ¿Cuál es la tensión de la cuerda?



#### Coevaluación

Resuelve el siguiente problema con ayuda del gráfico del ejercicio 6. Luego, intercambia tus respuestas con otro compañero y verifíquenlas.

Una fuerza F se ejerce directamente hacia arriba sobre el eje de la polea. La polea y el cable carecen de masa. Dos objetos, de masas  $m_1 = 3$  kg y  $m_2 = 4$  kg, están unidos a los extremos opuestos del cable, el cual pasa por la polea. El bloque  $m_2$  está en contacto con el piso.

- ¿Cuál es el valor más grande que la fuerza F puede tener de modo que  $m_2$  permanezca en reposo sobre el piso?
- ¿Cuál es la tensión en el cable cuando la fuerza F hacia arriba es de 200 N?

## Gestión del Riesgo

La Gestión de Riesgo implica un conjunto de decisiones administrativas, de organización, control y conocimientos operacionales tecnológicos desarrollados por toda la sociedad para implementar políticas, estrategias, acciones y, así, fortalecer sus capacidades para reducir el impacto de amenazas naturales, desastres y emergencias ambientales y tecnológicos.

# Sobreviviendo a las leyes de Newton

© Santillana



Cuando la disminución de la velocidad debe ser inmediata, como en los aviones que aterrizan en pistas cortas o los supercarros que alcanzan velocidades cercanas a los 1 000 km/h, el sistema de frenado incluye otros mecanismos como paracaídas para generar más fricción.

Al vez que el ser humano ha inventado motores más potentes, capaces de lograr aceleraciones inmensas y velocidades increíbles, ha tenido que desarrollar y diseñar mecanismos de frenado que le permitan desaceleraciones igualmente rápidas. En los vehículos tripulados, como los carros, ha tenido que inventar mecanismos que, en caso de fallar los frenos, tengan la capacidad de proteger y salvar la vida de sus ocupantes. Sin embargo, aún con las tecnologías más avanzadas y seguras, no debemos olvidar que todavía no se ha inventado el mecanismo que nos permita escapar y vencer a las leyes de la física como las de inercia o de acción y reacción.

## Deteniendo bólidos con seguridad y confort

Lo último que uno espera cuando oprime el pedal del freno, especialmente en una situación de riesgo, es que este falle. Los frenos desempeñan dos funciones: reducen la velocidad y disipan calor. Cuando uno oprime el pedal, desde el cilindro principal se envía líquido de frenos a través de mangueras de alta presión.

Este líquido fuerza las almohadillas contra el rotor, generando la fricción que detiene el vehículo. El desempeño de los frenos está determinado en gran medida por su habilidad de generar fricción (poder de detención), por su resistencia a fallos y desgaste y por el rango de temperaturas a las que trabaja. Todo el sistema está expuesto al aire para su enfriamiento.

Cuando se introdujeron los automóviles de tracción delantera (FWD), los sistemas de frenado se hicieron más pequeños y ligeros mientras que el tamaño de los carros no disminuyó. Los frenos, especialmente los delanteros, comenzaron a hacer el trabajo de sistemas más grandes y a ser sometidos a altas temperaturas y desgaste. Se desarrollaron compuestos semimetálicos capaces de soportar estas condiciones pero con producción de ruido y contaminación. Actualmente, se están remplazando por compuestos cerámicos complejos que son silenciosos, más limpios y con características más estables y predecibles ante el calor.

© Santillana



La manera en que se conduce influye en el compuesto usado para generar fricción en el sistema de frenado. En la Fórmula 1, cada piloto cuenta con su propio diseño.

Estos pueden contener más de 20 ingredientes, incluyendo fibras cerámicas, cartón, lana, titanio, cobre, lubricantes y otros, que ayudan a reducir el ruido y aumentan el desempeño de los frenos. Un solo compuesto no puede cubrir las necesidades de todos los vehículos ya que el tamaño, el peso y el tipo de frenos, entre otros, influyen en el compuesto usado. Basados en la producción de calor de cada uno, se le aplican compuestos particulares en los que varía el tipo de cerámica usada, el tamaño de sus partículas, su distribución y su dureza, entre otros. Actualmente, existen varios centenares de estos compuestos.

A pesar del desarrollo de materiales más eficientes y resistentes, las almohadillas y los rotores están sujetos al desgaste y deben ser revisados regularmente y reemplazados cuando sea necesario.



Los procesos de fricción producen calor y ruido, algunas veces en grandes cantidades. Los frenos actuales utilizan compuestos que resisten mayores temperaturas y son silenciosos.



## Los gases pueden salvar vidas: las bolsas de aire



© Santillana

El uso del cinturón de seguridad ha probado ser efectivo reduciendo significativamente la mortalidad en los accidentes de tránsito.



© Santillana

Las bolsas de aire son complementarias al cinturón de seguridad. En casos de accidente protegen a las personas interponiéndose entre partes específicas del cuerpo y las superficies internas duras de los carros.

**S**i los ocupantes de un carro no están protegidos durante un choque frontal, continúan moviéndose hacia adelante con la misma velocidad del carro hasta que chocan contra el timón, el tablero de control o el vidrio panorámico. Las bolsas de aire evitan este choque y reducen los riesgos de lesiones. Actúan como cojines que aminoran la fuerza que se ejerce sobre cualquier punto del cuerpo, la distribuyen sobre un área mayor, incrementan el tiempo sobre el que actúa y disminuyen la tasa de desaceleración. Se inflan con nitrógeno gaseoso a velocidades entre 240 y 400 km/h en cerca de 0,06 segundos e, inmediatamente después, comienzan a desinflarse. Un choque tarda 0,125 segundos y los ocupantes deben golpear la bolsa mientras se está desinflando, de lo contrario, su presión interna crearía una superficie tan dura como la roca.

Las primeras bolsas salían del timón o el tablero de control. Se activaban solo ante cambios bruscos de velocidad cuando una bolita de acero sostenida por un imán salía disparada hacia adelante, y solo protegían a las personas contra choques frontales. Actualmente son «inteligentes».

Utilizan varios sensores que, de acuerdo con la gravedad del accidente, el peso de los ocupantes y la interacción con otros mecanismos como el cinturón de seguridad, deciden si usarlas y con qué intensidad. Algunas salen de las puertas o el lado de los asientos y protegen a los ocupantes de golpes laterales. Otras salen del techo, protegen la cabeza y, en caso de volcarse, amortiguan los golpes y evitan que los ocupantes salgan expulsados.

Aunque se ha cuestionado su utilización pues han causado lesiones a niños y a adultos de escasa estatura, las estadísticas muestran que con el uso de bolsas de aire las muertes disminuyen en un 26% y las lesiones de cabeza aun más significativamente con respecto al uso de solo el cinturón de seguridad. Sin embargo, no debe olvidarse que estas fueron diseñadas para complementar a los cinturones de seguridad y no para reemplazarlos.

### Actividades

A pesar de los adelantos en el desempeño de los frenos y los mecanismos de seguridad de los carros, los accidentes de tránsito son una causa importante de mortandad.

¿Cuáles crees que son las principales causas de accidentalidad vial en Ecuador? ¿Crees que algún sector de la población se ve más afectado? ¿Crees que para disminuir los accidentes sería mejor invertir en desarrollos tecnológicos o en programas de educación?



© Santillana

### Investiga

1. Averigua qué sucede cuando se bloquean las llantas delanteras y traseras de un carro. ¿Cómo se afecta la maniobrabilidad en cada caso?
2. Los automóviles dependen de la fricción para moverse y para frenar. Investiga cómo hacen para frenar las naves espaciales en el vacío en donde no hay fricción. ¿Cómo hacen para desplazarse de un lugar a otro?

Bloque  
**5**

## Trabajo, potencia y energía





Toda experiencia humana puede ser descrita en términos de transferencia y/o transformación de la energía. Subir un objeto pesado por un plano inclinado, encender un bombillo, un motor de combustión interna, una planta termoeléctrica o la digestión de los alimentos son solo algunos ejemplos de fenómenos en los cuales ocurre transferencia y transformación de energía. Aún cuando podemos evidenciar sus efectos y manifestaciones, el concepto mismo de energía no es fácil de definir. En el contexto de la física clásica, la energía se define como la capacidad para realizar un trabajo. Pero, ¿qué es el trabajo?

El concepto de trabajo está asociado a su vez con palabras como actividad, movimiento y —en términos más generales— con cambio. Sabemos que un cuerpo cambia su estado de movimiento solo cuando actúa sobre él una fuerza. La aplicación de dicha fuerza implica una transferencia de energía que se manifiesta en un cambio en el estado de movimiento del cuerpo. Vemos cómo los términos *fuerza*, *energía* y *trabajo* se interrelacionan para generar un marco conceptual dentro del cual podemos describir, explicar y predecir la ocurrencia de fenómenos físicos de muy diversa índole.

### Observa y analiza las imágenes.

- ¿De dónde se obtiene la enorme cantidad de energía producida en una explosión atómica?
- ¿Cómo interviene la energía en el movimiento del carro en una montaña rusa?
- ¿Qué transformaciones de energía se producen en una caída de agua?
- ¿Cuál es la fuente de energía en la combustión del oxígeno?

### Objetivo educativo

Comprender los conceptos de trabajo, energía y potencia, sus tipos y transformaciones, y resolver problemas relacionados con ellos a fin de proponer modos para un mejor aprovechamiento de la energía de nuestro entorno.

Sombrero de paja toquilla.  
Artesanía elaborada en la Costa.



## Destreza con criterio de desempeño:

Definir trabajo y sus relaciones a partir de fenómenos físicos mecánicos.

## DEFINICIÓN DE TRABAJO

### Conocimientos previos

Cuando una persona sube un objeto pesado hasta determinada altura, se dice que ha realizado un trabajo, para el cual ha tenido que ejercer una fuerza de una magnitud dada.

Por otro lado, si sube el mismo objeto al doble de altura, se admite que ha realizado el doble de trabajo, al tiempo que ha ejercido una fuerza dos veces mayor que la anterior como sucede en la figura 5.1. (Si la fuerza ejercida es constante.)

Menciona tres ejemplos de trabajo realizado por una persona.

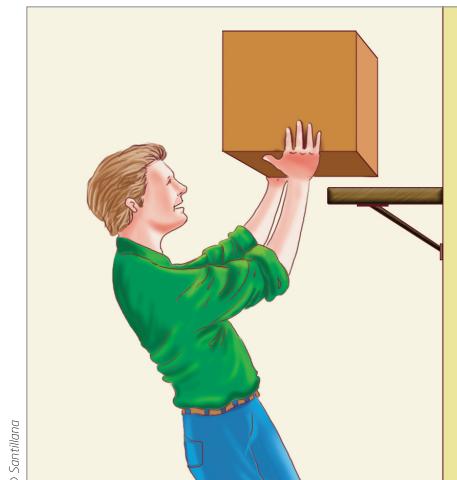


Fig. 5.1. Al levantar un objeto a una determinada altura se realiza trabajo.

El concepto de trabajo en la vida diaria es tan intuitivo como el concepto de fuerza.

Cuando un sistema transfiere energía a otro y como consecuencia de dicha transferencia, en el segundo sistema se produce un desplazamiento, se dice que se ha realizado un trabajo. Es decir, que el trabajo es un proceso de transferencia de energía mediante el cual se produce un cambio de posición de uno o varios cuerpos.

Para realizar un trabajo es necesario aplicar una fuerza que produzca un desplazamiento.

El trabajo realizado por una fuerza constante es proporcional al módulo de dicha fuerza y a la distancia que se desplaza el objeto sobre el cual se aplica la fuerza.

Tenemos entonces que para que se produzca un trabajo es necesario que exista al menos una fuerza, ya que un cuerpo en reposo se pone en movimiento bajo la acción de una o varias fuerzas cuya resultante neta no sea cero.

Podemos definir el trabajo en función de la fuerza aplicada y del desplazamiento producido en un cuerpo:

**El trabajo ( $W$ ) producido por una fuerza constante ( $\vec{F}$ ), aplicada sobre un cuerpo, es igual al producto de la intensidad de la fuerza aplicada en la dirección del movimiento por el módulo del desplazamiento ( $\vec{\Delta x}$ ) del cuerpo.**

Si llamamos  $F$  a la fuerza en la dirección del desplazamiento (fig. 5.2), esta definición se expresa matemáticamente mediante la siguiente expresión:

$$W = F \cdot \Delta x = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha$$

El trabajo se expresa en newton-metro ( $N \cdot m$ ). Esta unidad de medida se denomina julio (J), en honor al físico inglés **James Prescott Joule** (1818-1889). De esta manera,

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

Por lo tanto, un julio es el trabajo realizado por una fuerza de un newton cuando produce un desplazamiento de un metro en la misma dirección de la fuerza.

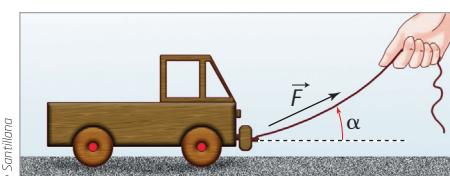
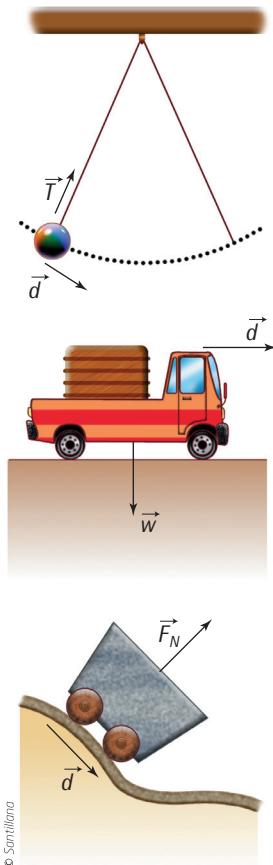


Fig. 5.2. La fuerza  $\vec{F}$  y el desplazamiento  $\vec{\Delta x}$  forman un ángulo  $\alpha$ .



© Santillana

Fig. 5.5. Las fuerzas perpendiculares al desplazamiento  $d$  no realizan trabajo.



© Santillana

Fig. 5.3. Si no se consigue levantar las pesas, no se realiza trabajo.



© Santillana

Fig. 5.4. La fuerza que ejerce la niña realiza trabajo sobre el carrito.

Para tener una idea de cuánto es 1 J de trabajo, supongamos que se levanta, con velocidad constante, un cuerpo cuyo peso es de 1 N (es decir, 102 g-f), a una altura de 1 m. Puesto que se ejerce una fuerza de 1 N, a lo largo de 1 m, el trabajo realizado es igual a:

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

Es importante tener presente que para realizar un trabajo es necesario producir un desplazamiento. Por eso, si se intenta levantar unas pesas del suelo sin conseguir elevarlas, no se realiza ningún trabajo por muy intensa que sea la fuerza (fig. 5.3).

Si bien, en la definición de trabajo están involucradas dos cantidades vectoriales, la fuerza y el desplazamiento, **el trabajo es una cantidad escalar**.

### Ejemplo

Una niña tira de un carrito por medio de una soga que forma con la horizontal un ángulo de  $30^\circ$  (fig. 5.4). Si la niña ejerce una fuerza de 10 N y desplaza el carrito una distancia de 2 m, calcular el trabajo realizado.

#### Solución

A partir de la definición que hemos dado de trabajo, tenemos:

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha = 10 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} \cdot \cos 30^\circ = 17,2 \text{ J}$$

El trabajo realizado por la niña es entonces de 17,2 J

### Tarea

Un objeto cuyo peso es 200 N, inicialmente en movimiento, se desplaza 1,5 m hasta detenerse a lo largo de una superficie horizontal. El coeficiente de rozamiento entre la superficie y el bloque es 0,1. Calcula el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.

### FUERZAS QUE NO REALIZAN TRABAJO

Cuando un cuerpo no se desplaza, el trabajo realizado por la fuerza que actúa sobre él es cero. No obstante, este no es el único caso en el que la fuerza aplicada no realiza trabajo. Veamos otros casos. En la figura 5.5, se muestran algunos casos en los cuales hay desplazamiento y, sin embargo, las fuerzas señaladas no realizan trabajo. Para demostrar esto observemos que el ángulo que forman, en cada caso, el vector fuerza y el vector desplazamiento mide  $90^\circ$ . De la definición de trabajo, tenemos que:

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha = F \cdot \Delta x \cdot \cos 90^\circ = 0$$

Concluimos que una fuerza **perpendicular al desplazamiento no realiza trabajo**.

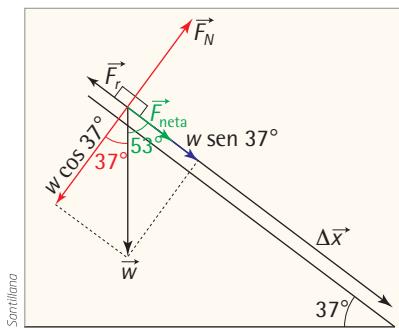


Fig. 5.6. Fuerzas que actúan sobre el bloque.

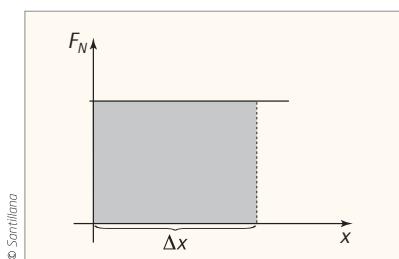


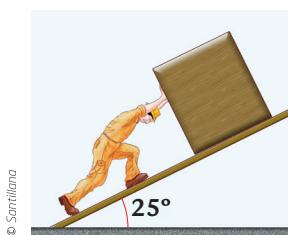
Fig. 5.7. En una gráfica de fuerza en función de desplazamiento, el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal representa el trabajo realizado por la fuerza.

## Tarea

Resuelve el problema.

Para subir una caja de 50 kg a determinada altura, un hombre se vale de un plano inclinado, en un ángulo de  $25^\circ$ , a manera de rampa. El hombre desplaza la caja una distancia de 3 m. Si el coeficiente de rozamiento entre la caja y el plano es 0,1, y el hombre ejerce una fuerza de 300 N, calcula:

- El trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan sobre el objeto.
- La fuerza neta que actúa sobre la caja y el trabajo neto efectuado sobre la caja.



## Ejemplo

Un bloque se desplaza 2 m hacia abajo por un plano inclinado  $37^\circ$  (fig. 5.6). Si el peso del bloque es 30 N y la fuerza de rozamiento es 4 N, calcula:

- El trabajo realizado por la fuerza normal.
- El trabajo realizado por el peso.
- El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.
- La suma de los trabajos que realizan las tres fuerzas que actúan.
- El trabajo realizado por la fuerza neta.

### Solución

- Puesto que la fuerza normal es igual a la componente del peso en el eje y, tenemos que:

$$F_N = 30 \text{ N} \cdot \cos 37^\circ = 30 \text{ N} \cdot 0,8 = 24 \text{ N}$$

Como la fuerza normal es perpendicular al desplazamiento, el trabajo que realiza la fuerza normal,  $W_{FN}$ , es igual a cero.

- El peso forma con el desplazamiento un ángulo de  $53^\circ$ , por tanto el trabajo realizado por el peso es:

$$W_w = w \cdot \Delta x \cdot \cos 53^\circ = 30 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} \cdot \cos 53^\circ = 36 \text{ J}$$

- El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento está dado por la expresión:

$$W_{fr} = F_r \cdot \Delta x \cdot \cos 180^\circ = 4 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} \cdot \cos 180^\circ = -8 \text{ J}$$

- La suma de los trabajos realizados por las tres fuerzas es igual a:

$$W_{\text{neto}} = W_{FN} + W_w + W_{fr} = 0 \text{ J} + 36 \text{ J} - 8 \text{ J} = 28 \text{ J}$$

- Determinemos ahora la fuerza neta, a partir de las fuerzas involucradas, expresando las componentes en N:

$$\begin{aligned} \vec{F}_N &= (0, 24) \\ \vec{F}_r &= (-4, 0) \\ \vec{P} &= (18, -24) \\ \vec{F}_{\text{neta}} &= (14, 0) \end{aligned}$$

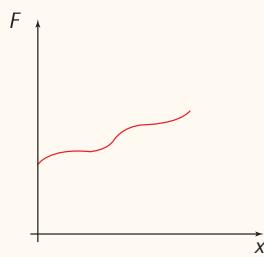
Como la fuerza neta está en la dirección del desplazamiento (fig. 5.6), el trabajo realizado por la fuerza neta es igual a:

$$W = F_{\text{neta}} \cdot \Delta x \cdot \cos 0^\circ = 14 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} \cdot \cos 0^\circ = 28 \text{ J}$$

Puntualicemos algunos aspectos importantes que se desprenden del desarrollo del anterior ejemplo:

- El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento es negativo.** Esto implica que en lugar de suministrar energía al sistema, en este caso al bloque, las superficies en contacto la absorben, oponiéndose al movimiento.
- La fuerza normal**, no realiza trabajo sobre el bloque puesto que es perpendicular al desplazamiento.
- El trabajo neto**, resultado de la suma de los trabajos que realizan cada una de las fuerzas que actúan sobre el bloque, **es igual al trabajo realizado por la fuerza neta**.

Cuando sobre un cuerpo actúa una fuerza constante, podemos representar gráficamente la componente de la fuerza en la dirección del movimiento, en función del desplazamiento (fig. 5.7).



© Santillana

Fig. 5.8. Gráfica de una fuerza variable en función del desplazamiento.

Como el trabajo realizado por  $F$  está dado por  $W = F \cdot \Delta x$ , podemos observar que esta expresión coincide con el área de un rectángulo de base  $\Delta x$  y altura  $F$ . Por tanto, **en una gráfica de la fuerza en función del desplazamiento, el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal representa el trabajo** (fig. 5.8).

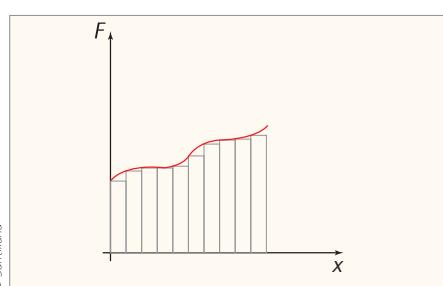
### TRABAJO REALIZADO POR FUERZAS VARIABLES

Imagina que sometemos un objeto a una fuerza variable como la que describe la gráfica de la figura 5.8. Podemos considerar que la fuerza se mantiene constante a lo largo de pequeñísimos desplazamientos, de manera que podemos dividir el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal en rectángulos de base muy pequeña (fig. 5.9).

El área de cada uno de los rectángulos representa aproximadamente el trabajo realizado en ese pequeño desplazamiento. Sumando estos trabajos se obtiene el trabajo total de la fuerza variable. Cuanto más pequeña se tome la base de estos rectángulos, más se aproxima la suma de las áreas de los mismos al área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal. De manera que:

**En una gráfica de la fuerza en función del desplazamiento, siempre podremos obtener el trabajo de una fuerza variable calculando directamente el área comprendida entre la gráfica y el eje horizontal.**

Consideremos el caso de un resorte cuya constante elástica es  $k$ , el cual obedece a la ley de Hooke. Es decir, la fuerza elástica,  $F$ , se relaciona con el alargamiento,  $x$  (medido con respecto a la posición en la cual el resorte no está ni comprimido ni estirado), mediante la expresión  $F = k \cdot x$ , donde  $k$  es la constante elástica del resorte, que se expresa en N/m.



© Santillana

Fig. 5.9. El área comprendida entre la curva y el eje horizontal representa el trabajo, el cual es aproximadamente igual a la suma de las áreas de los pequeños rectángulos.

Ahora bien, para estirar lentamente el resorte, debemos aplicar una fuerza  $F$  sobre él, que se define como  $F = k \cdot x$ . En la fig. 5.10, se muestra una representación gráfica de la fuerza aplicada sobre el resorte en función del alargamiento del mismo, donde el alargamiento se mide en relación con la posición en la cual el resorte no está deformado. El área comprendida entre la recta inclinada y el eje horizontal  $x$ , representa el trabajo realizado sobre el resorte. Como para determinado valor de  $x$ , la fuerza aplicada sobre el resorte está dada por  $F = k \cdot x$ , la altura del triángulo sombreado es  $k \cdot x$  y la base es  $x$ . De ahí que:

$$W = \frac{1}{2} \cdot (k \cdot x) \cdot x$$

de donde el trabajo realizado sobre el resorte es:

$$W = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

### Ejemplo

Un vagón en movimiento se detiene por la acción de un resorte de constante elástica 1 000 N/m que inicialmente está en reposo. Si mientras el objeto se detiene, el resorte se comprime 50 cm, calcular el trabajo realizado por el vagón sobre el resorte.

### Solución

El trabajo realizado sobre el resorte es:

$$W = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.000 \text{ N/m} \cdot (0,5 \text{ m})^2 = 125 \text{ J}$$

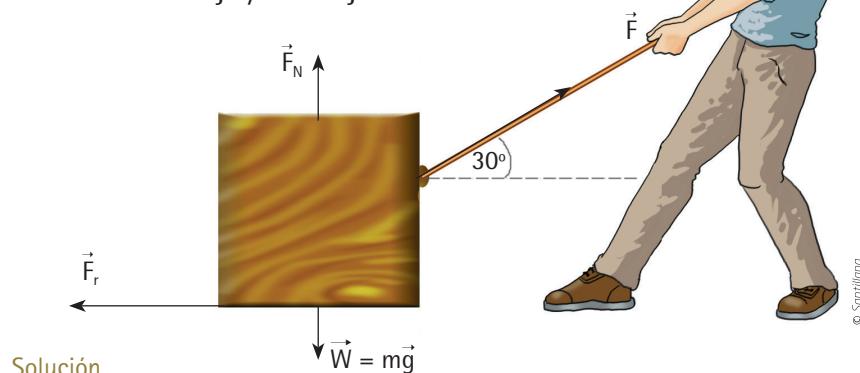
### Ti Trabajo individual

Calcula el trabajo realizado por el resorte del ejemplo si:

- Este se comprime el doble.
- Se cambia el resorte por otro de constante elástica igual al doble del anterior y este se comprime 50 cm.

### Ejemplo

Una persona arrastra una caja de 40 kg a lo largo de un trayecto horizontal de 8 m. Para esta acción, la persona aplica una fuerza constante de 120 N, que actúa en un ángulo de  $30^\circ$  respecto al desplazamiento. El suelo es rugoso y el coeficiente de rozamiento entre la caja y el suelo es de 0,2. Determinar el trabajo realizado por cada una de las fuerzas sobre la caja y el trabajo neto.



Solución

Como se aprecia en la figura, sobre la caja actúan cuatro fuerzas: la que ejerce la persona  $\vec{F}$ , la fuerza de rozamiento  $\vec{F}_r$ , la fuerza normal  $\vec{F}_N$  y el peso de la caja  $\vec{mg}$ .

El trabajo realizado por la fuerza normal y el peso son cero, por estar aplicadas perpendicularmente al desplazamiento. Entonces:

$$WF_N = F_N \cdot \cos 90^\circ \quad WF_N = 0 \text{ J}$$

$$W_W = mg \cdot \cos 90^\circ \quad W_W = 0 \text{ J}$$

El trabajo realizado por la fuerza aplicada por la persona es:

$$W_F = F \cdot \cos 30^\circ$$

$$W_F = (120 \text{ N}) \cdot (8,00 \text{ m}) \cos 30^\circ$$

$$W_F = 831 \text{ J}$$

El trabajo realizado por la fuerza de roce en contra del desplazamiento es:

$$W_{Fr} = W_{Fr} \cdot \cos 180^\circ$$

$$W_{Fr} = (\mu \cdot F_N) \cdot \cos 180^\circ$$

como  $\Sigma F_Y = 0$  y la fuerza normal es  $F_N = mg - F_Y$ , se remplazan:

$$W_{Fr} = \mu K (mg - F \sin 30^\circ) \cos 180^\circ$$

$$W_{Fr} = 0,2 [(40,0 \text{ kg}) (9,80 \text{ m/s}^2) - 120 \text{ N} \sin 30^\circ] (8,00 \text{ m}) \cos 180^\circ$$

$$W_{Fr} = -531,2 \text{ J}$$

El trabajo neto realizado sobre la caja es la suma algebraica del trabajo realizado por cada una de las fuerzas, entonces:

$$W_{\text{Neto}} = WF_N + W_W + W_F + W_{Fr}$$

$$W_{\text{Neto}} = 0 \text{ J} + 0 \text{ J} + 831 \text{ J} - 531 \text{ J}$$

$$W_{\text{Neto}} = 300 \text{ J}$$

### Tc Trabajo cooperativo

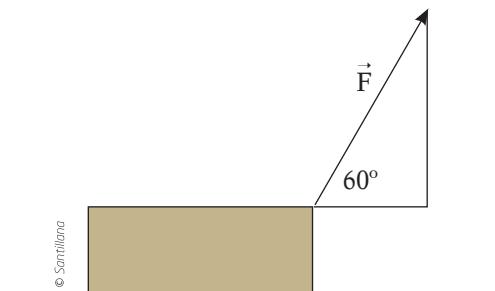
Formen parejas y resuelvan.

- ¿Cuánto trabajo se requiere para elevar un bloque de 6 kg hasta una altura de 20 m?
- Un obrero levanta un cilindro de 50 libras desde el suelo hasta una altura de 2,4 m del piso. ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza de gravedad?



## Actividades

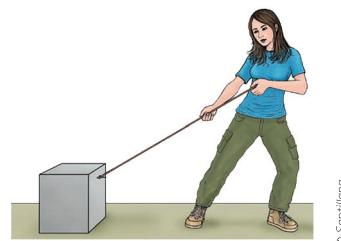
- Un remolcador ejerce una fuerza constante de 4 000 N sobre un barco y lo mueve una distancia de 15 m a través del puerto. ¿Qué trabajo realizó el remolcador?
- ¿Qué trabajo realiza una fuerza de 65 N al arrastrar un bloque como se muestra en la figura a través de una distancia de 38 m, cuando la fuerza es transmitida por medio de una cuerda de  $60^\circ$  con la horizontal?



© Santillana

- Un mensajero lleva un paquete de 35 N desde la calle hasta el quinto piso de un edificio de oficinas, a una altura de 15 m. ¿Cuánto trabajo realiza?
- Julio realiza un trabajo de 176 J al subir 3 m. ¿Cuál es la masa de Julio?
- Julio jala un trineo a través de una superficie plana de nieve con una fuerza de 275 N, mediante una cuerda que forma un ángulo de  $35^\circ$  con la horizontal. Si el trineo avanza 55.5 m, ¿qué trabajo realiza Julio?
- Se jala una caja a una distancia de 145 m mediante una cuerda que ejerce una fuerza de 145 N. Si el trabajo neto realizado fue de 1 200 J, ¿qué ángulo forma la cuerda con la horizontal?
- Una cuerda arrastra un bloque de 10 kg por una distancia de 20 m por el piso contra una fricción constante de 30 N. La cuerda forma un ángulo de  $35^\circ$  con el piso y tiene una tensión de 60 N.
  - ¿Qué trabajo realiza la fuerza de 60 N?
  - ¿Cuál es el trabajo desarrollado por la fuerza de fricción?
  - ¿Qué trabajo resultante se ha realizado?
  - ¿Cuál es el coeficiente de fricción?

- Una persona arrastra un cuerpo sobre una superficie horizontal ejerciendo sobre él una fuerza de 60 N, en un ángulo de  $40^\circ$  con la horizontal. Sabiendo que el cuerpo se desplaza 5 m, determinar:
  - El valor del ángulo entre la fuerza y el desplazamiento.
  - El trabajo realizado por la persona.
  - El valor del ángulo entre el peso y el desplazamiento y entre la normal y el desplazamiento.



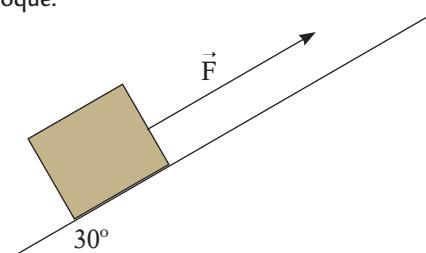
© Santillana



© Santillana

## L Lección

- Un objeto cuyo peso es 200 N, se desplaza 1,5 m sobre una superficie horizontal hasta detenerse. El coeficiente de rozamiento entre la superficie y el bloque es 0,1. Determinar el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.
- Una fuerza de 80 N mueve un bloque de 5 kg hacia arriba por un plano inclinado a  $30^\circ$ , según muestra en el gráfico. El coeficiente de fricción cinético es de 0.25 y la longitud del plano son 20 metros, calcular el trabajo que realizan cada una de las fuerzas sobre el bloque.



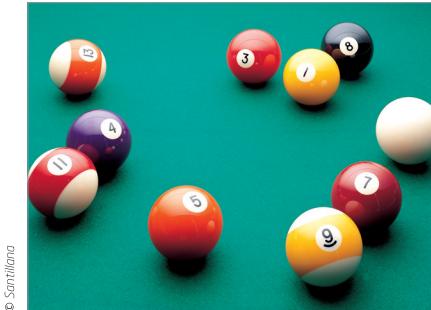
## Destreza con criterio de desempeño:

Definir energía y sus relaciones a partir de fenómenos físicos mecánicos.

## Conocimientos previos

La energía se manifiesta constantemente en la naturaleza, por ejemplo cuando las plantas crecen y los animales se trasladan. También cuando las máquinas y herramientas realizan variadas tareas.

¿Crees que al quemar un trozo de madera está presente la energía? Menciona otros ejemplos de energía.



© Santillana

Fig. 5.11. Una bola de billar genera movimiento en otra al chocar contra ella.

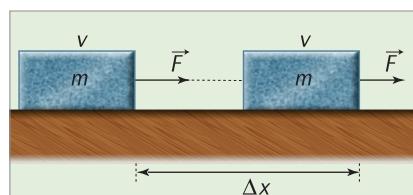
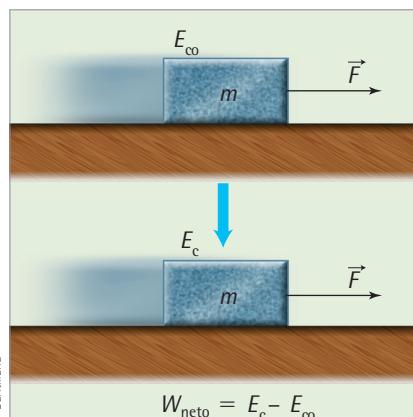


Fig. 5.12. La acción de la fuerza neta,  $F$ , hace que el cuerpo aumente su velocidad.



© Santillana

Fig. 5.13. El trabajo neto es igual al cambio de energía cinética.

Los conceptos de energía y trabajo están íntimamente ligados. En primer lugar, cuando realizamos un trabajo sobre un cuerpo, le hemos transferido una cierta cantidad de energía que se manifiesta en el movimiento de dicho cuerpo, por lo que hablamos de energía cinética. En segundo lugar, un cuerpo está en capacidad de realizar un trabajo cuando cuenta con una cierta cantidad de energía, llamada *energía potencial*.

## ENERGÍA CINÉTICA

Todo cuerpo que está en movimiento, puede transmitirlo a otros que se encuentran en reposo, es decir, que puede realizar una transferencia de energía y, de este modo, efectuar un trabajo (fig. 5.11).

Imagina un cuerpo de masa  $m$ , cuya velocidad inicial es  $v_0$ , al que se le aplica una fuerza neta constante  $F_{\text{neta}}$  dirigida en el mismo sentido del movimiento (fig. 5.12). Por la acción de dicha fuerza, el objeto es sometido a una aceleración  $a$  y la velocidad del cuerpo aumenta, de manera que, después de experimentar un desplazamiento  $\Delta x$ , tendrá velocidad  $v$ . El trabajo neto  $W_{\text{neto}}$  realizado por la fuerza es

$$W_{\text{neto}} = F_{\text{neta}} \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha = m \cdot a \cdot \Delta x \cdot \cos 0 = m \cdot a \cdot \Delta x$$

Si la aceleración es constante, la velocidad de un cuerpo se relaciona con la aceleración y el desplazamiento, mediante la expresión:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x.$$

De esta expresión obtenemos que,  $a \cdot \Delta x = \frac{v^2 - v_0^2}{2}$ .

Al sustituir en  $W_{\text{neto}} = m \cdot a \cdot \Delta x$ , tenemos:

$$W_{\text{neto}} = m \cdot \frac{v^2 - v_0^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$$

A partir de esta ecuación se define la expresión que representa la energía cinética,  $E_c$ , tal como se muestra a continuación:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

**La energía cinética es la forma de energía que se asocia a los cuerpos en movimiento.**

Si  $E_{\text{co}}$  es la energía cinética inicial y  $E_c$  es la energía cinética final, el trabajo neto toma la forma:

$$W_{\text{neto}} = E_c - E_{\text{co}}$$

Esta relación se conoce como el **teorema para trabajo y energía cinética**.

**El trabajo neto realizado por la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es igual al cambio de energía cinética, es decir, a la diferencia entre la energía cinética final y la inicial (fig. 5.13).**

Si el trabajo neto es positivo, la energía cinética aumenta y si el trabajo neto es negativo, la energía cinética disminuye.

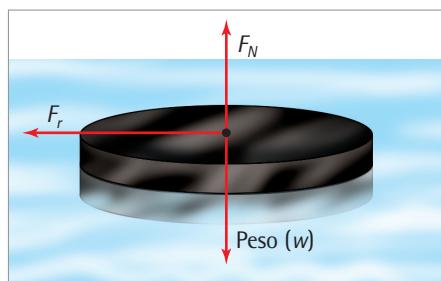
La unidad de energía cinética en el Sistema Internacional de Unidades es el julio, y se deriva de:

$$\text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$



© Santillana

Fig. 5.14. El rozamiento entre el disco y el hielo, aunque pequeño, hace que el disco se detenga.



© Santillana

Fig. 5.15. Sobre el disco actúan el peso y la fuerza normal, que no realizan trabajo, y la fuerza de rozamiento, que realiza un trabajo negativo.

## Ejemplo

Un jugador de hockey sobre el hielo (fig. 5.14) lanza un disco de 200 g con una velocidad de 10 m/s. Si después de recorrer 25 m, la velocidad del disco disminuye en un 10%, calcula:

- El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.
- El coeficiente de rozamiento.
- El tiempo que transcurre desde el lanzamiento del disco, hasta que este se detiene por la acción del rozamiento.
- La distancia recorrida por el disco, desde el lanzamiento hasta que se detiene.

### Solución

a. Las fuerzas que actúan sobre el disco son el peso, la fuerza de rozamiento y la fuerza normal (fig. 5.15). Dado que, ni el peso ni la fuerza normal realizan trabajo puesto que son perpendiculares al desplazamiento, tenemos que el trabajo de la fuerza de rozamiento coincide con el trabajo neto.

La energía cinética inicial del disco es:

$$E_{co} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \text{ kg} \cdot (10 \text{ m/s})^2 = 10 \text{ J}$$

La energía cinética del disco, después de que este ha perdido el 10% de su velocidad inicial, es decir, cuando su valor es 9 m/s, es:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \text{ kg} \cdot (9 \text{ m/s})^2 = 8,1 \text{ J}$$

En consecuencia el trabajo neto es:

$$W_{\text{neto}} = E_c - E_{co} = 8,1 \text{ J} - 10 \text{ J} = -1,9 \text{ J}$$

- El trabajo de la fuerza de rozamiento es igual a:

$$W_{Fr} = F_r \cdot \Delta x \cdot \cos 180^\circ = -F_r \cdot \Delta x$$

De donde,

$$-1,9 \text{ J} = -F_r \cdot 25 \text{ m}, \text{ por tanto, } F_r = 0,08 \text{ N.}$$

Como  $F_r = \mu \cdot F_N$  y la fuerza normal, en este caso es igual al peso ( $m \cdot g = 0,2 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 1,96 \text{ N}$ ), obtenemos que el coeficiente de rozamiento es:  $\mu = 0,04$ .

- Para calcular el tiempo que emplea en detenerse, debemos hallar la aceleración. Ahora, como la fuerza neta es igual a la fuerza de rozamiento ( $F_{\text{neta}} = -0,08 \text{ N}$ ), tenemos que,

$$m \cdot a = -0,08 \text{ N},$$

que equivale a:  $0,2 \text{ kg} \cdot a = -0,08 \text{ N}$ .

De donde  $a = -0,4 \text{ m/s}^2$ .

Aplicando la ecuación  $v = v_0 + a \cdot t$ , para el instante en que el disco se detiene, tenemos:

$$0 = 10 \text{ m/s} - 0,4 \text{ m/s}^2 \cdot t, \text{ por lo tanto, } t = 25 \text{ s.}$$

- La distancia recorrida por el disco es:

$$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 = 10 \text{ m/s} \cdot 25 \text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 0,4 \text{ m/s}^2 \cdot (25 \text{ s})^2 = 125 \text{ m.}$$

El disco recorre un total de 125 m, hasta que se detiene.

## Tarea

Resuelve el problema.

Un automóvil de masa 1 000 kg, parte del reposo y acelera durante 10 s, hasta alcanzar una velocidad de 60 km/h. Sin tener en cuenta la fuerza de rozamiento, determina:

- La fuerza que ejerce el motor y el trabajo realizado por dicha fuerza.
- La distancia recorrida por el auto en los 10 segundos.

## Recuerda

El teorema del trabajo y la energía cinética permite analizar dos situaciones:

- Si sobre un objeto se realiza un trabajo neto positivo, su rapidez aumentará, porque la energía cinética final será mayor que la energía cinética inicial.
- Si sobre un objeto se realiza un trabajo neto negativo, la rapidez disminuirá, porque la energía cinética final será menor que la energía cinética inicial.

## Ejemplo

En la escena de un accidente sobre un camino nivelado, los investigadores determinaron que las marcas del deslizamiento del automóvil medían 88 m de largo. El accidente ocurrió en un día lluvioso, donde se estimó que el coeficiente de roce cinético era 0,42. Determinar la rapidez del automóvil cuando el conductor pisó y bloqueó los frenos.



### Solución

En esta situación, el trabajo neto sobre el automóvil es realizado por la fuerza de roce contraria al desplazamiento cuando el conductor aplica los frenos, es decir:

$$W = F_r \cdot x \cos \theta$$

$$W = (\mu \cdot F_N) \cdot x \cos 180^\circ$$

Como el camino está nivelado, la fuerza normal equilibra el peso, entonces  $F_N = mg$ . Finalmente, el trabajo:

$$\text{es: } W = -(\mu \cdot m \cdot g) \cdot x$$

Por otra parte, el trabajo realizado sobre el auto provoca una variación en la energía cinética de este, así se tiene:

$$W = E_{co} - E_{cf}$$

$$W = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$

Como el automóvil finalmente se detiene, su rapidez final es cero, por lo que se puede escribir:

$$-(\mu \cdot m \cdot g) \cdot x = -\frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$

simplificando la masa m del automóvil y remplazando valores queda:

$$-0,42 (9,8 \text{ m/s}^2) 88 \text{ m} = -\frac{1}{2} v_0^2$$

despejando la rapidez se tiene que:

$$v_0 = \sqrt{2 (0,42 \cdot 9,8 \text{ m/s} \cdot 88 \text{ m})}$$

$$v_0 = 27 \text{ m/s}$$

La velocidad a la que viajaba el auto cuando el conductor aplicó los frenos era de 27 m/s.

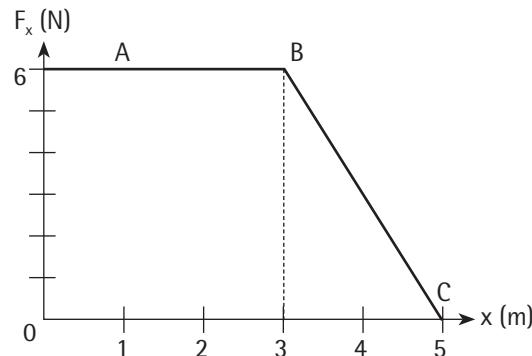


## Ejemplos

1. Una fuerza  $F_x$  que actúa sobre un objeto varía según indica la gráfica. Calcular el trabajo realizado por la fuerza sobre el objeto cuando este se mueve desde  $x = 0$  hasta  $x = 5$  m.

### Solución

La fuerza que actúa sobre el objeto es constante durante los primeros 3 m del movimiento. Luego decrece linealmente con  $x$  desde 3 m hasta 5 m. El trabajo neto realizado por esta fuerza es el área bajo la curva.

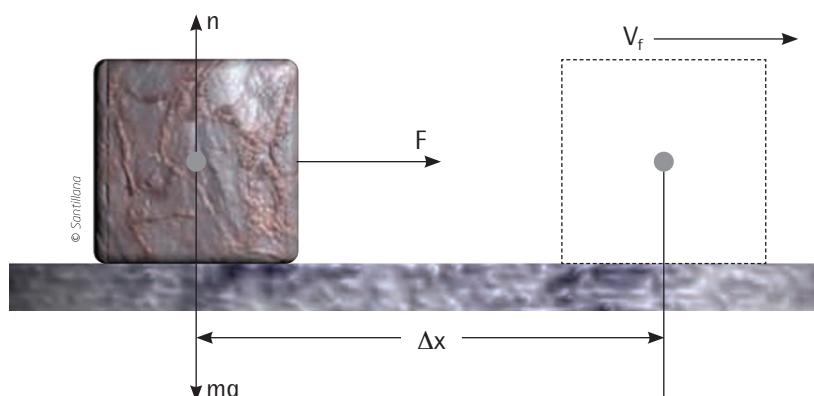


El área de la sección rectangular comprendida entre A y B es:  $A_{AB} = 6 \text{ N} \cdot 3 \text{ m} = 18 \text{ J}$

El área de la sección triangular comprendida entre B y C es:  $A_{BC} = \frac{1}{2} \cdot 6 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 6 \text{ J}$

Sumando las áreas, el trabajo neto realizado es de 24 J.

2. Un bloque de 8 kg que se encuentra inicialmente en reposo es tirado hacia la derecha a lo largo de una superficie horizontal sin roce, por una fuerza horizontal constante de 20 N. ¿Cuál es la rapidez del bloque cuando se ha desplazado 4 m?



### Solución

Sobre el bloque se ejercen tres fuerzas externas. La fuerza gravitacional y la fuerza normal no realizan trabajo ( $\theta = 90^\circ$ ). Al no existir roce, la única fuerza que realiza trabajo es la de 20 N.

Entonces, el trabajo realizado por la fuerza constante es:

$$W = Fx = 20 \text{ N} \cdot 4 \text{ m}$$

$$W = 80 \text{ J}$$

Utilizando el teorema del trabajo y la energía cinética se tiene:  $W = E_{cf} - E_{co}$

Reemplazando los datos y despejando  $v$ , se tiene:

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - 0$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{W}{m}}$$

$$v = 4,47 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

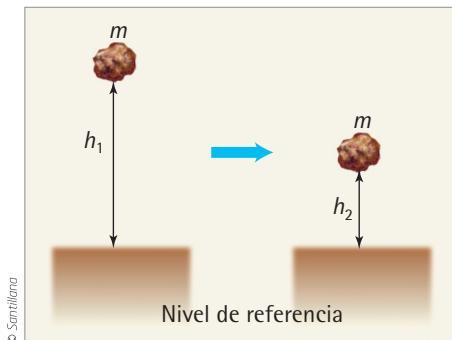


Fig. 5.16. El cuerpo desciende desde una altura  $h_1$  hasta una altura  $h_2$ .

## ENERGÍA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Nuestro planeta atrae a todos los cuerpos que se encuentran en sus proximidades con la denominada fuerza gravitacional que, en este caso, equivale al peso. Cuando un cuerpo cae, su peso realiza trabajo sobre el objeto.

Recordemos que la realización de un trabajo está asociada siempre con la energía. Entonces, podemos asociar una cierta cantidad de energía a un cuerpo que está a determinada altura con respecto al suelo.

A la energía asociada a un cuerpo que está sometido a la fuerza llamada peso, es decir, a un cuerpo que se encuentra bajo la acción de la fuerza gravitacional, se la llama **energía potencial gravitacional**.

Supongamos un cuerpo de masa  $m$  que se encuentra inicialmente a una altura  $h$ , sobre el suelo y que cae libremente hasta una altura  $h_2$  (fig. 5.16).

La fuerza que actuó sobre el cuerpo es el peso  $w$ , que además de ser constante, tiene el mismo sentido del desplazamiento. Por tanto, el trabajo realizado por el peso es:

$W \equiv F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha \equiv w \cdot \Delta x \cdot \cos 0^\circ$ ; donde  $\Delta x \equiv h_2 - h_1$ .

Por tanto,  $W = -mg(h_2 - h_1) \cos 0^\circ$ .

A partir de esta ecuación se obtiene la expresión para la energía potencial gravitacional,  $E$ , como se muestra en seguida:

$$E_n = m \cdot g \cdot h$$

Con esto, la expresión del trabajo realizado por el peso se expresa como:

$$W = E_{n1} - E_{n2}$$

En la figura 5.17 se muestra primero un objeto que se deja caer desde una altura  $h$ , a lo largo de un plano inclinado y luego el objeto cayendo en la dirección vertical. En el caso del plano inclinado, la componente del peso que realiza trabajo es:

$W \cdot \operatorname{sen} \alpha = m \cdot g \cdot \operatorname{sen} \alpha$ ;  $W$  = componente del peso en la dirección vertical  
 Como  $\operatorname{sen} \alpha = h/d$ , la distancia que recorre el objeto es  $h/\operatorname{sen} \alpha$ . El trabajo realizado es, entonces:

$$W = m \cdot g \cdot h$$

El trabajo realizado por el peso es entonces independiente de que el objeto caiga verticalmente o a lo largo de un plano. Es decir, el trabajo realizado por el peso depende de la altura desde la cual cae el objeto, medida con respecto a un nivel de referencia elegido.

En la figura 5.18a se muestran dos trayectorias posibles para el desplazamiento de un cuerpo desde A hasta B. En ambos casos, el trabajo realizado por el peso del objeto es el mismo, pues, entre los puntos C y B, el peso no realiza trabajo alguno, de modo que solo se tiene en cuenta el desplazamiento, ya sea, de A hasta B directamente o de A hasta C.

En la figura 5.18b, se muestra una trayectoria curva, que puede ser considerada como formada por pequeños planos inclinados. Así, entre más pequeños sean los planos, más nos aproximaremos a la curva real. Esto nos permite concluir que el trabajo realizado por el peso, entre los puntos A y B, a lo largo de la trayectoria curva, es igual al trabajo realizado por el peso a lo largo de las trayectorias de la figura 5.18a.

Las fuerzas, como el peso, para las cuales el trabajo realizado no depende de la trayectoria seguida por el objeto, sino de los estados inicial y final se denominan **fuerzas conservativas**.

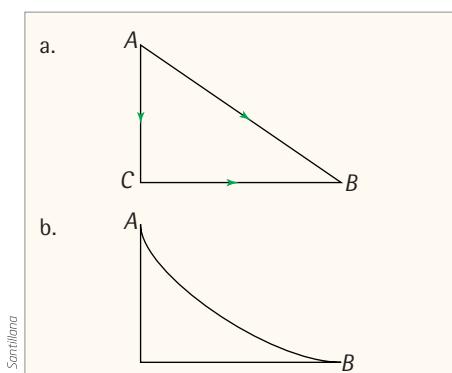


Fig. 5.18. El trabajo realizado por el peso cuando el objeto va desde A hasta B, no depende de la trayectoria, sólo de la diferencia de alturas entre A y B.

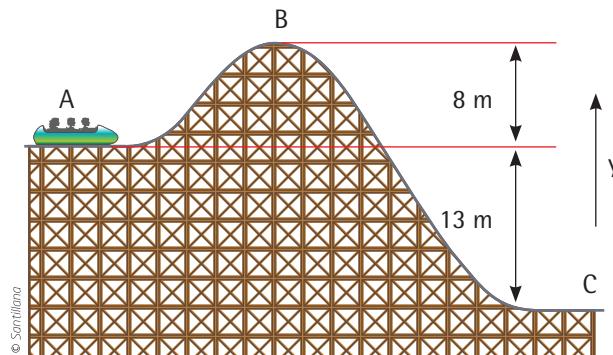


## Ejemplo

Un carro de una montaña rusa de 800 kg se mueve desde el punto A hasta el punto B y luego, hasta el punto C.

Determinar:

- La energía potencial gravitatoria en los puntos B y C respecto al punto A.
- El cambio en la energía potencial cuando el carro va desde el punto B hasta el C.
- Repetir los cálculos anteriores tomando como nivel de referencia el punto C.



### Solución

Se debe calcular la energía potencial gravitatoria del sistema carro-Tierra a partir de su definición.

Además, se considera positiva la dirección vertical hacia arriba.

- Se miden las alturas desde el punto A; por lo tanto, la energía potencial gravitatoria inicial es cero.

- En el punto B, donde  $h_B = 8 \text{ m}$ .  $E_{pB} = m \cdot g \cdot h_B = (800 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (8 \text{ m})$   
 $E_{pB} = 62\,720 \text{ J}$
- En el punto C, donde  $h_C = -13 \text{ m}$ . El valor es negativo debido a que el punto C está debajo del punto A:

$$E_{pC} = m \cdot g \cdot h_C = (800 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (-13 \text{ m}) \quad E_{pC} = -101\,920 \text{ J}$$

- Al ir del punto B al punto C, el cambio en la energía potencial gravitatoria es:

$$\Delta E_p = E_{p\text{final}} - E_{p\text{inicial}}$$

$$E_{pC} - E_{pB} = -101\,920 \text{ J} - 62\,720 \text{ J}$$

$$\Delta E_p = -164\,640 \text{ J}$$

El resultado indica que la energía potencial gravitacional del carro disminuye en 164 640 J.

- Al cambiar el nivel de referencia  $h_A = +13 \text{ m}$ ; por lo tanto, la energía potencial gravitatoria inicialmente en el punto A será:

$$E_{pA} = m \cdot g \cdot h_A = (800 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (13 \text{ m})$$

$$E_{pA} = 101\,920 \text{ J}$$

- En el punto B,  $h_B = 21 \text{ m}$ , así la energía potencial gravitatoria será:

$$E_{pB} = m \cdot g \cdot h_B = (800 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (21 \text{ m}) \quad E_{pB} = 164\,640 \text{ J}$$

- En el punto C,  $h_C = 0$ ; por lo tanto, la energía potencial es cero. La variación de la energía potencial gravitatoria al ir de B a C será:

$$\Delta E_p = E_{pC} - E_{pB} = (0 \text{ J} - 164\,640 \text{ J})$$

$$\Delta E_p = -164\,640 \text{ J}$$



© Santillana

## Destreza con criterio de desempeño:

Definir la potencia y sus relaciones a partir de fenómenos físicos mecánicos.

## Conocimientos previos

Observa las grúas de la figura 5.19, la grúa 1, en 20 segundos levanta un bloque de ladrillos de 200 kg hasta una altura de 10 m; la otra levanta la misma carga, a la misma altura, pero en 10 segundos. Las dos realizan el mismo trabajo, puesto que vencen la misma fuerza —el peso de los ladrillos—, y producen el mismo desplazamiento. Si las dos le aportan la misma energía potencial gravitacional a la carga, ¿cuál de las dos grúas crees que es la más potente? ¿Por qué?

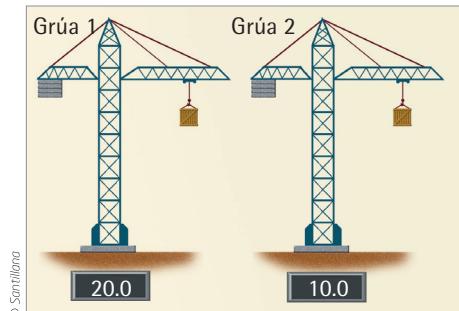


Fig. 5.19. La grúa que emplea menor tiempo en realizar el mismo trabajo desarrolla mayor potencia.

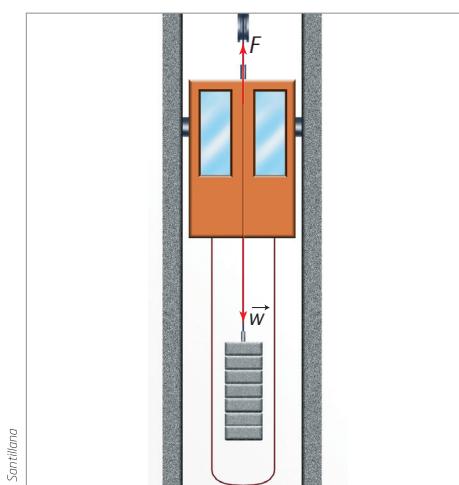


Fig. 5.20. La fuerza ejercida por el motor es igual al peso, ya que el ascensor sube con velocidad constante.

## Tc Trabajo cooperativo

Una grúa eleva un cuerpo de 200 kg, hasta una altura de 10 m en 30 s.

Otra realiza la misma operación, pero en 40 s. Calcula para cada grúa:

- La energía potencial gravitacional suministrada al cuerpo.
- El trabajo realizado sobre el cuerpo.
- La potencia desarrollada.

## CONCEPTO DE EFICIENCIA

Las máquinas son dispositivos en los cuales no solo es importante el trabajo que pueden efectuar, sino también la rapidez con que lo realizan.

En el caso de las grúas, la segunda realiza el trabajo más rápido que la primera, por lo tanto, la segunda grúa desarrolla mayor potencia. La potencia es la medida de la rapidez con la cual se realiza un trabajo.

**La potencia (P) es el trabajo (W) desarrollado en una unidad de tiempo.**

Esta definición se formula de la siguiente manera:

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

**La potencia indica la rapidez con la cual se realiza un trabajo.** Así, cuanto más rápida sea una máquina para realizar un trabajo, mayor será la potencia desarrollada por ésta.

A partir de la ecuación que define la potencia, podemos ver que la unidad de potencia es J/s. Esta unidad se denomina **vatio** (W) y equivale, aproximadamente, a la potencia de una máquina que levanta un cuerpo de  $10^2$  gramos (es decir, un peso de 1 N), a una altura de un metro, en un segundo con rapidez constante.

## Ejemplo

Un ascensor de masa 500 kg, con cuatro personas a bordo, cada una con una masa de 75 kg, asciende una altura de 28 metros con velocidad constante, en 32 segundos. Calcular:

- La energía potencial que adquiere el ascensor al final del ascenso.
- El trabajo realizado por el motor y su potencia.

**Solución**

- La energía potencial gravitacional del ascensor con las cuatro personas es:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 800 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 28 \text{ m} = 219\,520 \text{ J}$$

- Puesto que el ascensor se mueve con velocidad constante, la fuerza que ejerce el motor es igual al peso (fig. 5.20), y por tanto:

$$F_{\text{motor}} = 800 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 7\,840 \text{ N}$$

Como la fuerza ejercida tiene el mismo sentido que el desplazamiento (ambos verticales y hacia arriba), el ángulo  $\alpha$  es 0 y por tanto,  $\cos \alpha = 1$ . Por consiguiente:

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha = 7\,840 \text{ N} \cdot 28 \text{ m} \cdot 1 = 219\,520 \text{ J}$$

El trabajo realizado por el motor es igual a 219 520 J y equivale a la energía potencial gravitacional asociada con el ascensor cuando este alcanza el punto más alto.

$$\text{La potencia está dada por: } P = \frac{W}{t} = \frac{219\,520}{32 \text{ s}} = 6\,860 \text{ W}$$

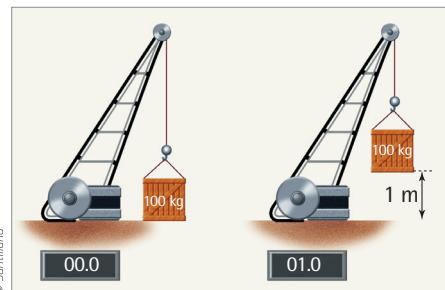


Fig. 5.21. La potencia de esta grúa es aproximadamente de 1 kW.



### Ti Trabajo individual

Una lavadora permanece en funcionamiento durante 25 minutos. Si la potencia de dicho electrodoméstico es de 2 000 W y el kWh cuesta \$0,67 calcula:

- La energía consumida por la lavadora, en kWh.
- El costo de mantenerla en funcionamiento.

## OTRAS UNIDADES DE POTENCIA

Puesto que el vatio es una cantidad de potencia muy pequeña, es usual expresarlo en **caballos de potencia** (HP), que equivale a 746 vatios. Por ejemplo, la potencia de los motores de los carros se expresa en caballos de potencia.

Otra unidad de potencia muy utilizada es el **kilovatio** (kW), que equivale a 1 000 vatios. Ésta es aproximadamente la potencia que suministra una grúa al levantar un objeto de 100 kg una altura de 1 m en un segundo (fig. 5.21).

Por otra parte, si observamos las facturas expedidas por la empresa de energía eléctrica, encontramos en la columna del consumo una cifra expresada en kWh, abreviatura de una unidad llamada **kilovatio-hora**.

SUMINISTRO DEL SERVICIO ELECTRICO:					
Medidor:	Factor de multiplicación:	1.00	Constante:	1.00	
Recargo Pérdidas en Transformación:	0 %				
Desde: 26/03/2013	Hasta: 25/04/2013	Días: 30	Tipo consumo:	Leido	
DESCRIPCIÓN		LECTURAS		VALORES	
Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Energía	17510.00	17314.00	196	kWh	14.28
07h00-22h00				kWh	0
22h00-07h00				kWh	0
Reactiva				kvarh	0
Demandा Cliente				kW	0
Maxima				kW	0
Maxima en pico				kW	0
TOTAL SERVICIO ELECTRICO (1):					18.52
Su ahorro por la Tarifa de la Dignidad es de					

Analicemos el significado de esta unidad:

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 1000 \text{ J/s} \cdot 3600 \text{ s} = 3600000 \text{ J}$$

Lo cual significa que *Potencia · Tiempo = Energía consumida*. Expresado de otra forma:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía consumida}}{\text{Tiempo}}$$

Un **kilovatio-hora** (kWh), se define, entonces, como el trabajo que realiza una máquina cuya potencia es de un kilovatio durante una hora de funcionamiento.

### Ejemplo

Un bombillo de 100 W se mantiene encendido durante 4 horas. Calcular:

- La energía consumida por el bombillo, en kWh.
- El costo de mantenerlo en funcionamiento, si el valor de un kWh es \$ 0,67.

Solución

- La energía consumida es:

$$\text{Energía consumida} = \text{Potencia} \cdot \text{Tiempo}, \text{es decir:}$$

$$\text{Energía consumida} = 0,1 \text{ kW} \cdot 4 \text{ h} = 0,4 \text{ kWh}$$

- El valor del consumo se obtiene al multiplicar el valor del kWh por el consumo, es decir, \$2,68.

Existe una persistente confusión en los medios de comunicación con respecto a la energía total producida o consumida (que se expresa, por ejemplo en kWh), y la potencia o rapidez con la cual se produce o se consume energía (que se expresa, por ejemplo, en kW). Establezcamos la diferencia con un ejemplo: si la potencia (rapidez con la cual consume energía) de un motor es de 10 kW, la energía que consume se puede expresar en kWh y este valor depende del tiempo que permanezca en funcionamiento.



© Santillana

## Ejemplos

1. La grúa utilizada en una construcción eleva con velocidad constante una carga de 200 kg, desde el suelo hasta una altura de 10 m, en 30 segundos. Determinar:

- El incremento en la energía potencial del cuerpo.
- El trabajo realizado sobre la carga.
- La potencia desarrollada por la grúa.

Solución

- Para determinar el incremento de la energía potencial de la carga con respecto al suelo, tenemos:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 200 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m} = 19600 \text{ J}$$

- Puesto que la grúa sube la carga con velocidad constante, la fuerza aplicada sobre ella debe ser igual a:

$$m \cdot g = 200 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 1960 \text{ N}$$

Por lo cual, el trabajo realizado sobre la carga es:

$$W = F \cdot \Delta x + \cos 0^\circ = 1960 \text{ N} \cdot 10 \text{ m} = 19600 \text{ J}$$

El trabajo realizado por la grúa es igual al incremento en la energía potencial.

- La potencia desarrollada por la grúa es:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{19600 \text{ J}}{30 \text{ s}} = 653 \text{ W}$$

2. Una lavadora permanece en funcionamiento durante 25 minutos. Si la potencia que consume es de 2 000 W y la empresa de energía cobra el kW h a 9,20 ctvs., determinar:

- La energía consumida por la lavadora en kW h
- El costo de mantener la lavadora en funcionamiento durante los 25 minutos.

Solución

- Para determinar la energía consumida por la lavadora tenemos:

$$E = P \cdot t = 2 \text{ kW} \cdot \frac{25}{60} \text{ h} = 0,83 \text{ kWh}$$

- El costo del funcionamiento durante los 25 minutos es el producto de 0,83 kWh por el valor del kW h, cuyo resultado es 7,63 ctvs.

3. ¿Cuánto le tomará a un motor de 1 800 w elevar una carga de 400 kg a una ventana de un sexto piso, ubicada 15 m hacia arriba?

Solución

Primero, se despeja  $t$  de la ecuación de potencia promedio:  $P = \frac{W}{t}$        $t = \frac{W}{P}$

Y como el trabajo realizado por el motor para subir la carga con velocidad constante es:

$$W = F_y = m \cdot g \cdot y. \text{ Entonces, se tiene:}$$

$$t = \frac{m \cdot g \cdot y}{P} = \frac{400 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 15 \text{ m}}{1800 \text{ W}} \quad t = 32,7 \text{ s}$$

El tiempo que demora el motor en subir la carga es de 33 s.



## Actividades

Reconoce situaciones en las que existe potencia.

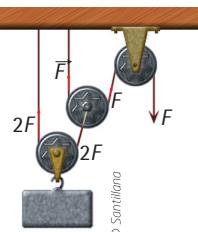
1. A continuación se presenta una tabla donde se muestra la potencia aproximada de algunos electrodomésticos:

Aparato	Potencia
Televisor	200 W
Nevera	250 W
Plancha	800 W
Lavadora	2 500 W

Calcula, para cada uno, la energía consumida en kWh, durante un mes.

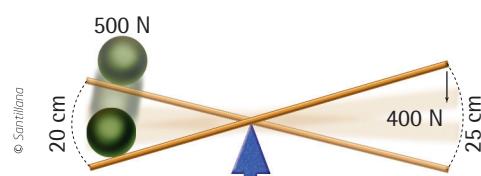
Reconoce situaciones en las que existe trabajo realizado por una fuerza.

2. Por medio del sistema de la figura se pretende subir un objeto de peso 1 000 N a una altura de 10 m. Calcula:



- La fuerza,  $F$ , necesaria para que el objeto suba con velocidad constante.
- El trabajo realizado sobre el objeto.

3. Utilizando la figura explica por qué las máquinas simples, como las palancas, permiten realizar trabajo aplicando fuerzas más pequeñas, pero efectuando desplazamientos mayores.



Define potencia como la intensidad con que se realiza un trabajo.

4. ¿Cuándo se realiza más trabajo, al subir por una escalera vertical o por una inclinada?



## L Lección

Identifica diferentes tipos de energía.

1. Plantea un ejemplo de cada uno de los siguientes casos:

- Un cuerpo con el que se asocia energía cinética, pero no energía potencial.
- Un cuerpo con el que se asocia energía potencial, pero no energía cinética.
- Un cuerpo con el que se asocia a la vez energía cinética y energía potencial.

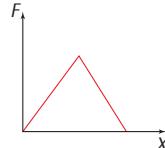
Reconoce situaciones en las que existe trabajo realizado por una fuerza.

2. Para cargar un camión, se suele utilizar una tabla entre el contenedor y el suelo, con el fin de subir la carga, ya sea desplazándola o haciéndola rotar sobre la tabla. Responde:



- ¿Este método disminuye el trabajo efectuado sobre la carga?
- ¿Este método disminuye la fuerza ejercida sobre la carga?

3. Sobre un objeto se aplica una fuerza cuya representación gráfica, en función de la posición se muestra en la figura. Calcula el trabajo realizado por la fuerza.



## I Investiga

Reconoce situaciones en las que existe trabajo realizado por una fuerza.

1. ¿Por qué la fuerza centrípeta no realiza ningún trabajo? Identifica diferentes tipos de energía.

2. ¿En dónde es mayor la energía potencial de un cuerpo a 20 m del suelo: en el polo norte o en el ecuador? Explica.

Reconoce situaciones en las que existe trabajo realizado por una fuerza.

3. Un muchacho se ubica en un peldaño de una escalera eléctrica y permanece en él mientras ésta sube. ¿Realiza trabajo el muchacho?

Reconoce situaciones en las que existe potencia.

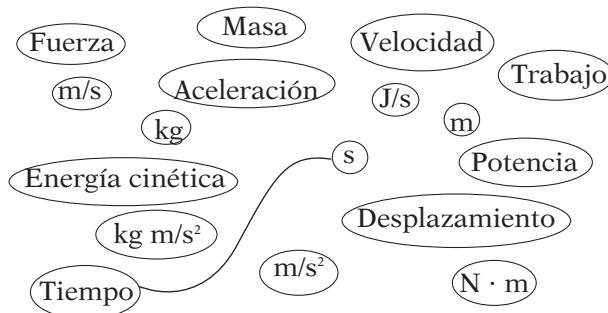
4. Las palancas, las poleas y el plano inclinado son máquinas simples. ¿Nos ahorran trabajo las máquinas simples?

5. ¿Cuándo se realiza más trabajo, al comprimir un resorte una distancia  $d$  o al estirarlo la misma distancia  $d$ ? Explica tu respuesta.

# Problemas de ampliación

Reconoce magnitudes físicas.

1. A continuación se muestran algunos conceptos físicos y sus respectivas unidades en el Sistema Internacional de Unidades. Escoge las parejas correctas y escríbelas.



2. Asocia los conceptos de la columna de la izquierda con las expresiones matemáticas de la columna de la derecha y escríbelos formando una pareja.

Fuerza	$W/t$
Trabajo	$m \cdot v^2/2$
Potencia	$F \cdot x \cdot \cos$
Energía cinética	$m \cdot a$
Energía potencial gravitacional	$m \cdot g \cdot h$

Reconoce situaciones en las que existe trabajo, energía y potencia.

3. Escoge de las siguientes afirmaciones las que sean verdaderas y escribe un ejemplo.

- Se realiza trabajo cuando una fuerza es perpendicular al desplazamiento.
- Para realizar un trabajo es necesario aplicar una fuerza.
- El trabajo es una cantidad vectorial.
- La energía es un concepto asociado al trabajo.
- Si el trabajo neto es positivo, entonces la energía cinética disminuye.
- Una máquina tiene mayor potencia cuando menos trabajo realiza.

Analiza y resuelve problemas relacionados con trabajo.

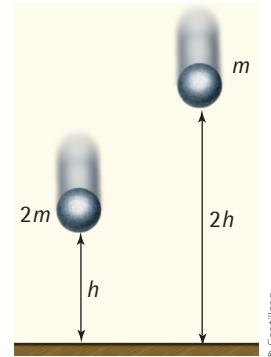
- Para levantar una caja a una altura  $h$  se hace un trabajo  $w$ . ¿Cuánto trabajo se debe realizar para levantar la caja a una altura  $5h$ ?
- ¿Qué se quiere expresar cuando se dice que se puede hacer trabajo en «contra» de una fuerza?
- ¿Por qué cuando un objeto se mueve con movimiento circular uniforme, la fuerza centrípeta que actúa sobre él no realiza trabajo?

Analiza y resuelve problemas relacionados con trabajo.

- Si un cuerpo no realiza trabajo alguno, entonces, ¿qué puede ocurrir con su energía?
- Explica qué manifestación de la energía presentan las siguientes situaciones:
  - Un auto en movimiento.
  - Una grúa levantando un auto.
  - Un vaso de agua hirviendo.
  - La batería de un carro.
  - Un objeto en reposo en el piso.

Analiza y resuelve problemas relacionados con trabajo, energía y potencia.

- Una persona sube un bulto de cemento por unas escaleras eléctricas y otra lo hace por medio de una polea. Si ambos suben el cemento a la misma altura, explica por qué el trabajo realizado es el mismo.
- Si se lanza un objeto verticalmente hacia arriba, determina el trabajo realizado por el peso del objeto cuando este sube y cuando baje.
- La energía cinética de un auto con velocidad es  $m \cdot v^2/2$ . ¿En qué medida o factor aumenta o disminuye la energía del auto, si su velocidad se duplica? ¿Si se cuadriplica? ¿Si se reduce a la mitad?
- ¿Es posible que la energía cinética o potencial tenga un valor negativo? Justifica tu respuesta.
- Se tienen dos esferas iguales en su forma, una de ellas con el doble de masa que la otra. Se dejan caer desde alturas diferentes, siendo la altura de la esfera de masa mayor, la mitad de la altura desde la que cae aquella con menor masa. Si ambas caen al piso, ¿cuál de ellas puede causar mayor daño al caer?
- Sobre un bloque se aplica una fuerza horizontal de 60 N, para desplazarlo a una distancia de 2 m. La fuerza de rozamiento entre el piso y el bloque es de 20 N. ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza aplicada? ¿Cuál es el trabajo (negativo) realizado por la fuerza de rozamiento? ¿Cuál es el trabajo total?





15. ¿Cuánto trabajo se requiere para elevar un bloque de 10 kg hasta una altura de 20 m?

16. Un obrero levanta un cilindro de 40 libras desde el suelo hasta una altura 2,3 m del piso. ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza de gravedad?

17. Un obrero empuja una caja por una rampa inclinada  $30^\circ$ , que tiene 10 m de altura. Si la fuerza que hace es de 60 N y la aplica paralela al plano inclinado, ¿cuánto trabajo realiza el obrero?



© Santillana

18. ¿Cuánto trabajo se realiza para comprimir un resorte 15 cm, si este tiene una constante elástica de 200 N/m?

19. Sobre un objeto de 200 g de masa, ubicado a 5 m del piso, se realiza un trabajo de 500 J para levantararlo aún más. ¿A qué altura llegará?

20. Cuando una masa de 50 g se suspende de un resorte, este alcanza un estiramiento de 4 cm. ¿Cuál es la constante elástica del resorte en N/m? ¿Cuál es el trabajo hecho contra la fuerza del resorte?

21. Un carro de 1,5 toneladas viaja a 72 km/h, ¿cuál es su energía cinética?

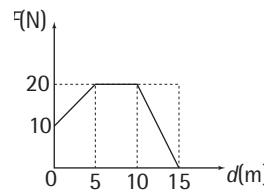
22. Una piedra de 500 g se lanza verticalmente hacia arriba, ¿cuál es su energía potencial cuando alcanza una altura de 20 m?

23. Un auto de 1500 kg que parte del reposo alcanza una velocidad de 72 km/h en 8 s. Si hay una fuerza que se opone al movimiento, de 200 N. ¿Cuál es el trabajo realizado por el motor?, ¿qué fuerza neta realiza el motor?, ¿qué distancia recorre el auto en dicho tiempo?

24. La potencia de un motor de Mercedes Benz es de 120 HP, ¿qué fuerza realiza el motor para recorrer 500 m en 13,5 s?

25. Un ascensor con capacidad para 10 personas (de 50 kg cada una), sube 20 m en 10 s, ¿cuál es la potencia del ascensor?

26. La siguiente es una gráfica donde se esquematiza una fuerza variable, en función del desplazamiento. Encuentra el trabajo realizado.



27. Diez bombillos de 60 W cada uno, permanecen encendidos 4 horas en promedio, durante el día. Un televisor de 200 W permanece encendido 6 horas y una plancha de 1 000 W permanece conectada 2 horas. Si el kilovatio-hora consumido cuesta \$0,67, ¿cuánto cuesta la energía consumida durante un mes (30 días)?

28. ¿Qué potencia (en HP) tiene el motor de un carro que realiza un trabajo de 200 000 J en 20 s?

29. Un proyectil de 300 g es lanzado con una velocidad de 30 m/s, formando un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal. ¿Cuál es el trabajo realizado por la gravedad desde que el proyectil parte hasta que alcanza la máxima altura?, ¿cuál es el trabajo realizado por la gravedad en todo el trayecto del proyectil? Considera despreciable la resistencia del aire.

## L Lección

Identifica diferentes tipos de energía y aplica el principio de conservación de la energía.

1. Un bloque de 200 g se desliza por una superficie horizontal, sin fricción con una velocidad de 6 m/s. Si va en dirección de un resorte fijo, cuya constante elástica es  $k = 200 \text{ N/m}$ , ¿qué tanto se comprime el resorte?

Analiza y resuelve problemas relacionados con trabajo, energía y potencia.

2. Un elevador de 2 000 kg adquiere una aceleración de  $0,70 \text{ m/s}^2$ , ¿cuánta potencia se desarrolla durante el tiempo en que la rapidez del elevador pasa de 0,50 m/s a 0,80 m/s?

3. Un bloque de 2 kg se desliza 3 m hacia abajo por un plano inclinado con la horizontal  $17^\circ$ , con una aceleración constante de  $0,30 \text{ m/s}^2$ . ¿Cuánto trabajo realiza la fuerza de gravedad sobre el bloque? ¿Cuál es el coeficiente de fricción cinética entre el bloque y el plano?

## I Investiga

Reconoce magnitudes de potencia.

Averigua qué es un electrón-voltio ( $eV$ ) y un ergio ( $e$ ), y establece su relación con el julio.

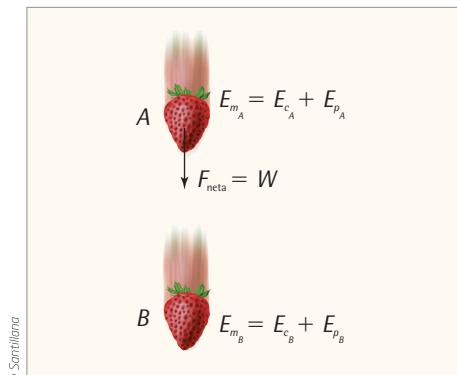
# Conservación de energía

## Destreza con criterio de desempeño:

Identificar los distintos tipos de energía existentes, con base en su origen y características de uso.

## Conocimientos previos

Se deja caer la frutilla de la figura 5.22, que tiene una masa 25 g desde una altura de 1 m. Si consideramos dos posiciones: la posición A, desde la cual se suelta la fruta, y B, la posición un instante antes de que el objeto llegue al piso, ¿crees que la energía mecánica en el punto A es igual a la del punto B?



© Santillana

Fig. 5.22. La energía mecánica es igual en todos los puntos de la trayectoria del objeto.

## LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

Imagina a la frutilla de la figura 5.22, que cae libremente desde determinada altura, las energías cinética y potencial asociadas con el cuerpo al pasar por el punto A y B, serían  $E_{c_A}$  y  $E_{p_A}$ ;  $E_{c_B}$  y  $E_{p_B}$ , respectivamente.

De acuerdo con el teorema de trabajo-energía cinética, el trabajo,  $W$ , realizado por el peso, que en este caso es la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo, está dado por:

$$W = E_{c_B} - E_{c_A}$$

Por otra parte, el trabajo realizado por el peso, está dado por:

$$W = E_{p_A} - E_{p_B}$$

Como las dos expresiones nos proporcionan el trabajo realizado por el peso, tenemos que

$$E_{c_B} - E_{c_A} = E_{p_A} - E_{p_B} \text{ entonces, } E_{c_A} + E_{p_A} = E_{c_B} + E_{p_B}$$

A la suma de la energía cinética y potencial la llamamos **energía mecánica**,  $E_m$ . Por tanto, obtenemos que:

$$E_{m_A} = E_{m_B}$$

Para interpretar esta igualdad, recordemos que el peso es una fuerza conservativa pues el trabajo que este realiza no depende de la trayectoria seguida por el cuerpo. Como en la deducción de la igualdad anterior la única fuerza que actúa sobre el cuerpo es el peso, enunciamos el **principio de conservación de la energía mecánica**, en los siguientes términos:

*La energía mecánica de un cuerpo permanece constante en un proceso, siempre que las fuerzas que actúan sobre el cuerpo sean conservativas.*

Observa que en el caso de la caída de un cuerpo, cuando despreciamos el efecto de la fuerza de rozamiento, podemos ver que su energía potencial se va transformando en energía cinética. De manera análoga, cuando el cuerpo asciende, su energía cinética se va transformando en energía potencial.

En ambos casos, se cumple que la suma de la energía cinética y la energía potencial permanece constante en todos los puntos. Si despreciamos la fricción, en el movimiento de la atracción mecánica de la figura 5.23, la energía mecánica también se conserva a lo largo de su recorrido.



© Santillana

Fig. 5.23. La energía potencial cuando el carro está en lo alto se transforma en cinética a lo largo de la trayectoria.

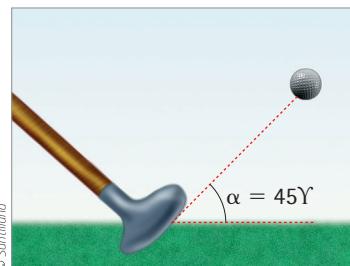


Fig. 5.23. La bola de golf es lanzada formando un ángulo con la horizontal.



### Trabajo cooperativo

Junto con un compañero resuelvan el problema.

Se deja caer un objeto de masa 2 kg desde una altura de 4 m.

Si consideramos dos posiciones: la posición A, desde la cual se suelta el objeto y B, la posición un instante antes de que el objeto llegue al piso, podríamos afirmar que la energía mecánica en el punto A es igual a la energía mecánica en el punto B. ¿Qué sucedería con la energía del objeto si tienes en cuenta el rozamiento con el aire? Justifica tu respuesta.



Nivel de referencia

### Ejemplo

Se lanza una pelota de golf con una velocidad de 40 m/s y una inclinación sobre la horizontal de 45° (fig. 5.23). Calcula la altura máxima que alcanza la pelota.

#### Solución

En el punto más alto la velocidad es horizontal y, por tanto, igual a la componente horizontal de la velocidad inicial, ya que, como lo hemos visto, este movimiento es uniforme. Por tanto,

$$v_{ox} = v_0 \cdot \cos 45^\circ = 40 \text{ m/s} \cdot \cos 45^\circ = 28,8 \text{ m/s}$$

Al hacer el balance de energía tenemos:

Punto de lanzamiento (A):

$$E_{m_A} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (40 \text{ m/s})^2 + 0 \text{ J} = 800 \text{ m}^2/\text{s}^2 \cdot m$$

Punto más alto de la trayectoria (B):

$$E_{m_B} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (28,8 \text{ m/s})^2 + m \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot h$$

Si despreciamos la resistencia del aire, la única fuerza que actúa sobre el cuerpo es el peso, por tanto, la energía mecánica es la misma en los puntos A y B, así tenemos:

$$800 \text{ m}^2/\text{s}^2 \cdot m = 505,6 \text{ m}^2/\text{s}^2 \cdot m + m \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot h$$

de donde,  $800 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 414,7 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot h$

por tanto,  $h = 39,3 \text{ m}$

La máxima altura es de 39,3 m. Observa que el resultado no depende de la masa de la pelota.

### Actividades

1. Un objeto se lanza verticalmente hacia arriba con velocidad de 6 m/s. Utiliza el principio de conservación de la energía para determinar hasta qué altura llega.
2. Desde el borde de una mesa, de altura  $h$ , se lanza horizontalmente una esfera con velocidad  $v_0$ . Calcula la velocidad con la cual cae al suelo.

### LAS FUERZAS DISIPATIVAS Y LA VARIACIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA

Las situaciones en las cuales únicamente actúan fuerzas conservativas sobre un objeto, es decir, fuerzas cuyo trabajo no depende de la trayectoria sino de los estados inicial y final, son situaciones ideales. En casi todas las situaciones realizan trabajo fuerzas no conservativas, denominadas  $W_{f \text{ no cons}}$ . Asimismo, el trabajo realizado en contra por la fricción, la cual no es conservativa, disminuye la energía mecánica de un sistema pues, por lo general, la transforma en calor. Por esto se dice que la fuerza de fricción es disipativa. De manera general, podemos expresar el principio de conservación de la energía mecánica como:

$$E_{m_A} + W_{f \text{ no cons}} = E_{m_B}$$

El trabajo de las fuerzas no conservativas depende del camino seguido entre los estados inicial y final, y es responsable de la pérdida o ganancia de energía mecánica de un cuerpo.

## Ejemplo

Un macetero de 0,5 kg cae desde una ventana (posición de reposo) que se encuentra a una altura de 4 m por encima del suelo. Determinar la rapidez del macetero en el instante previo a chocar con el suelo.



Si las fuerzas que actúan sobre un cuerpo son conservativas, la energía mecánica permanece constante.



### Solución

El macetero y la tierra forman un sistema aislado. Esto, considerándolos como un modelo simplificado en el que el macetero no encuentra ninguna resistencia del aire al caer y, por lo tanto, el sistema no está sometido a fuerzas externas.

Bajo estas consideraciones se puede utilizar el principio de conservación de la energía mecánica.

Inicialmente, el sistema tiene energía potencial gravitatoria y no tiene energía cinética. A medida que el macetero cae, por efecto de la fuerza de gravedad, la energía potencial gravitatoria disminuye y la energía cinética del macetero aumenta; sin embargo, la energía mecánica total del sistema permanece constante.

Ubicando el nivel de referencia en el suelo, se considera que en el instante previo a que el macetero choque con el suelo,  $h$  es cero.

$$E_{ki} + E_{pi} = E_{kf} + E_{pf}$$

$$0 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_f^2 + 0$$

despejando la rapidez final,

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$v = \sqrt{(2) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (4,0 \text{ m})}$$

$$v = 8,9 \text{ m/s}$$



## Ejemplo

Un nadador de 70 kg salta de un acantilado de 10 m sobre el nivel del agua y cae en línea recta en el agua. Si él llega al reposo 5 m bajo la superficie del agua, determinar la fuerza de resistencia promedio ejercida por el agua sobre el nadador.

### Solución

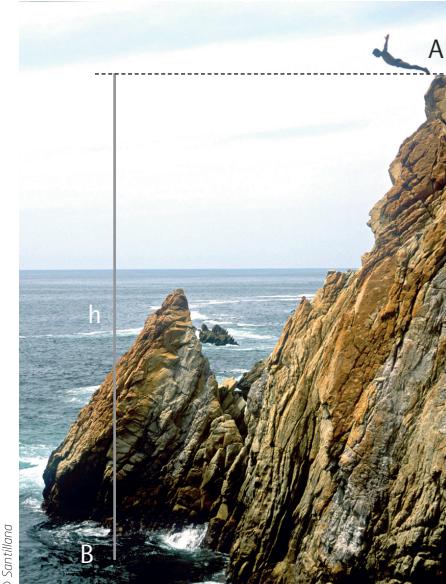
El problema se divide en dos partes, la primera cuando el nadador desciende por el aire donde se desprecia la fricción de este y la energía mecánica total se conserva. La segunda, cuando el nadador penetra en el agua y esta ejerce una resistencia a su movimiento, el roce es una fuerza no conservativa cuyo trabajo debe ser considerado sobre el descenso del nadador.

Tomando como sistema de referencia la superficie del agua ( $h = 0$ ), se tiene en la primera parte:

$$E_{M \text{ inicial}} = E_{M \text{ final}}$$

$$E_{Ki} + E_{Pi} = E_{Kf} + E_{Pf}$$

$$\frac{1}{2} mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2} mv_f^2 + mgh_f$$



© Santillana

El nadador parte del reposo, por lo que la energía cinética inicial es cero. Al llegar al agua su energía potencial gravitatoria respecto a esta es cero, por lo que la energía cinética al entrar al agua es igual a la energía potencial gravitatoria que el nadador tiene a los 10 m de altura.

$$0 + m \cdot g \cdot h_i = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_f^2 + 0$$

$$70 \text{ kg} \cdot 9,80 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m} = E_{Kf}$$

$$E_{Kf} = 6\,870 \text{ J}$$

Conocida la energía cinética con que entra al agua, se desarrolla el trabajo realizado por la fuerza no conservativa  $f_R$ , el cual será:

$$W_{NC} = \Delta E_K + \Delta E_p$$

$$- f_R \cdot x = \Delta E_K + \Delta E_p$$

$$- f_R \cdot x = \left( \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_i^2 \right) + (m \cdot g \cdot h_f - m \cdot g \cdot h_i)$$

El nadador desciende 5,00 m en el agua respecto al sistema de referencia y se detiene, por lo que:

$$-f_R (5 \text{ m}) = (0 - 6\,870 \text{ J}) + [(70 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (-5 \cdot \text{m}) - 0]$$

$$\frac{-f_R (5 \text{ m})}{-1} = \frac{-10\,300 \text{ J}}{-1}$$

$$f_R = \frac{10\,300 \text{ J}}{5 \text{ m}}$$

$$f_R = 2\,060 \text{ N}$$

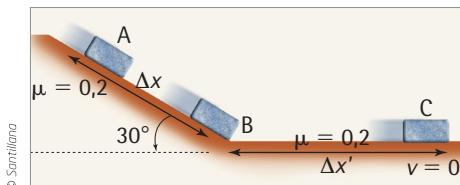


Fig. 5.24. La fuerza de rozamiento es disipativa, el trabajo realizado por ella se transforma en calor.

### Ejemplo

Un cuerpo de masa 2 kg desciende por un plano inclinado  $30^\circ$ . Recorre 2 m sobre el plano inclinado y continúa en movimiento sobre una superficie horizontal (fig. 5.24). Si  $\mu = 0,2$ , calcular:

- Velocidad del cuerpo cuando llega al final del plano inclinado.
- Distancia que recorre sobre el plano horizontal hasta detenerse.

#### Solución

- En el punto A, el cuerpo no ha comenzado aún a descender, por lo cual su velocidad es cero y en consecuencia su energía cinética es cero.

Si tomamos como nivel de referencia para la energía potencial, el plano horizontal, es decir el suelo, en el punto A, la energía mecánica solo es potencial. Entonces, como la altura es  $2 \text{ m} \cdot \sin 30^\circ = 1 \text{ m}$ , tenemos:

$$E_{m_A} = E_{c_A} + E_{p_A} = 0 + E_{p_A} = m \cdot g \cdot h = 2 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} = 19,6 \text{ J}$$

En el punto B, el cuerpo se encuentra al nivel del suelo, por lo cual no tiene energía potencial y tiene solo energía cinética. Es decir:

$$E_{m_B} = E_{c_B} + E_{p_B} = E_{c_B} + 0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ kg} \cdot v_B^2$$

Para calcular el trabajo de la fuerza de rozamiento, calculemos el valor de la fuerza normal y luego el de la fuerza de rozamiento.

En el plano inclinado, la fuerza normal es:

$$F_N = W \cdot \cos 30^\circ = 19,6 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ = 16,8 \text{ N}$$

En consecuencia, la fuerza de rozamiento vale:

$$F_r = \mu \cdot F_N = 0,2 \cdot 16,8 \text{ N} = 3,40 \text{ N}$$

El trabajo de la fuerza de rozamiento es el trabajo de las fuerzas no conservativas  $W_{f \text{ no cons}}$ , el cual calculamos así:

$$W_{f \text{ no cons}} = F_r \cdot \Delta x \cdot \cos 180^\circ = -3,40 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = -6,80 \text{ J}$$

De acuerdo con el principio de conservación de la energía:

$$E_{m_A} + W_{f \text{ no cons}} = E_{m_B}$$

Tenemos,  $19,6 \text{ J} - 6,80 \text{ J} = \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ kg} \cdot v_B^2$ , luego,  $v_B = 3,6 \text{ m/s}$

El cuerpo llega al punto B con velocidad de 3,6 m/s.

- En el punto B, la energía mecánica, que solo es cinética, es:

$$E_{m_B} = E_{c_B} = \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ kg} \cdot (3,6 \text{ m/s})^2 = 13,0 \text{ J}$$

El cuerpo se desliza una distancia  $\Delta x'$  por el plano horizontal hasta que su energía mecánica inicial se haya transformado en el trabajo necesario para vencer el rozamiento. En el punto C, la energía mecánica total será cero:

$$E_{m_C} = 0$$

La fuerza de rozamiento es:  $F_r = \mu \cdot F_N = 0,2 \cdot 19,6 \text{ N} = 3,92 \text{ N}$

Observa que en este caso la fuerza normal es igual al peso.

El trabajo  $W_{f \text{ no cons}}$  realizado por la fuerza de rozamiento es:

$$W_{f \text{ no cons}} = F_r \cdot \Delta x' \cdot \cos 180^\circ = -3,92 \text{ N} \cdot \Delta x'$$

Al aplicar la expresión  $E_{m_B} + W_{f \text{ no cons}} = E_{m_C}$  entre B y C, tenemos:

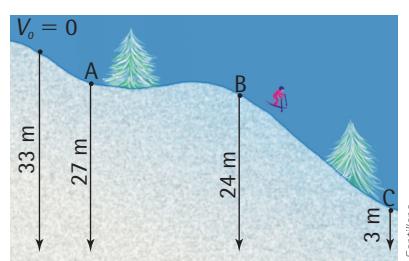
$$13,0 \text{ J} - 3,92 \text{ N} \cdot \Delta x' = 0$$

Por tanto,  $\Delta x' = 3,3 \text{ m}$ . Es decir, el cuerpo recorre 3,3 metros sobre el plano horizontal.

### L Lección

Resuelve el problema.

Un esquiador cuya masa es de 80 kg se desliza por una pista cubierta de nieve con la forma que se muestra en la figura y cuyos puntos se encuentran a las alturas indicadas. Supongamos que el esquiador no se impulsa con sus bastones, sino que se desplaza exclusivamente por la acción de su propio peso.



- Si se desprecia el rozamiento entre los esquís y la nieve, calcula su rapidez en los puntos A, B y C.
- Si al llegar al punto C, lo hace con el 20% de la velocidad que calculaste en la pregunta anterior, determina la energía disipada en forma de calor debido a la fuerza de rozamiento.

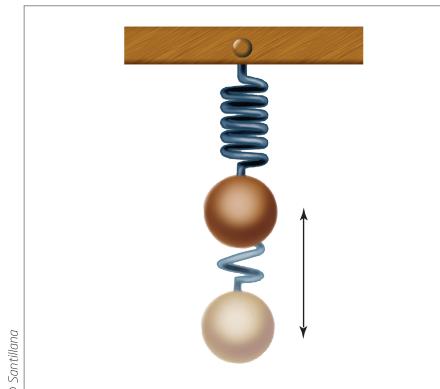


## ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA



© Santillana

Fig. 5.25. La fuerza del arco tensionado realiza trabajo sobre la flecha.



© Santillana

Fig. 5.26. Si consideramos que sólo actúan fuerzas conservativas (el peso y la elástica) cuando el resorte oscila, la energía mecánica se conserva.

### Tarea

Resuelve. En la figura 5.26 se muestra un objeto que oscila atado a un resorte. Describe las variaciones de la energía cinética, de la energía potencial gravitacional y la energía potencial elástica en el recorrido de la masa desde la posición de equilibrio (cuando el resorte no está ni estirado ni comprimido) hasta que el objeto se encuentra en la posición más baja.

Si se tensiona la cuerda del arco y se suelta, el resultado es que la flecha se mueve (fig. 5.25). En este caso existe una fuerza (la fuerza del arco tensionado) y un desplazamiento (el recorrido del cuerpo lanzado mientras está en contacto con el arco), por lo cual se ha realizado un trabajo. La transferencia de energía se realiza de la banda elástica hacia la flecha y, por tanto, se generó un trabajo.

El trabajo realizado para comprimir o estirar un resorte (con velocidad constante) una distancia  $x$  está dado por:

$$W = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

El trabajo realizado por un resorte solo depende de los estados inicial y final del resorte, por tanto la fuerza elástica es conservativa. En consecuencia, cuando aplicamos sobre un resorte una fuerza para estirarlo o comprimirlo, podemos asociar al resorte una cantidad de energía a la que llamamos **energía potencial elástica** ( $E_p$ ), dada por:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

Podemos extender nuestra definición de energía mecánica como la suma de la energía cinética más la potencial, donde la energía potencial corresponde a la suma de la energía gravitacional y la elástica.

$$E_m = E_c + E_p$$

Esto significa que la energía potencial puede ser gravitacional, elástica o la suma de ambas. En el caso de campos eléctricos, se debe considerar a la energía potencial eléctrica.

### Ejemplo

Un muchacho de masa 60 kg se ata a una cuerda elástica de constante 80 N/m, cuya longitud cuando no está estirada es de 12 m. El muchacho salta desde un puente que se encuentra a una altura de 40 m sobre el nivel del agua de un río. Cuando se detiene por la acción de la cuerda, esta alcanza una longitud de 35 m. Considerar la masa de la cuerda despreciable y al muchacho como un cuerpo puntual. Calcular la energía mecánica del muchacho en el momento en el que se detiene.

### Solución

La energía mecánica equivale a:  $E_m = E_c + E_p$

Puesto que en la parte más baja de su recorrido la velocidad es igual a cero, la energía cinética es cero.

La energía potencial es igual a la suma de la energía potencial gravitacional y la energía potencial elástica.

$$E_p = E_{p\text{ grav}} + E_{p\text{ elas}}$$

Si tomamos como nivel de referencia la superficie del agua, la altura del muchacho en la parte más baja es de 5 m. Punto en el cual, la cuerda está estirada una longitud de  $35\text{ m} - 12\text{ m} = 23\text{ m}$ . En consecuencia, la energía potencial, es decir la energía mecánica es igual a:

$$\begin{aligned} E_p &= m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \\ &= 60\text{ kg} \cdot 9,8\text{ m/s}^2 \cdot 5\text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 80\text{ N/m} \cdot (23\text{ m})^2 = 24\,100\text{ J} \end{aligned}$$

## Ejemplo

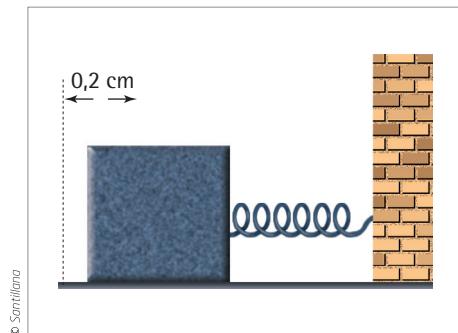
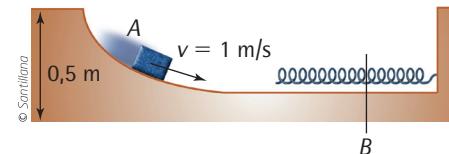


Fig. 5.27. Una vez que el objeto pierde contacto con el resorte, se desliza por la superficie horizontal hasta detenerse.

Un objeto de masa 1 kg con velocidad inicial de 1 m/s desciende desde una altura de 0,5 m por la rampa, de tal manera que al llegar a la parte final de esta comprime un resorte de constante 200 N/m. Calcular:

- ¿Cuál es la máxima compresión del resorte, si la rampa tiene rozamiento despreciable?
- Si el resorte se comprime 10 cm, ¿cuánta energía se transforma en calor debido a la fricción, en este caso no despreciable?



### Solución

- En el punto A, la energía cinética del objeto es:

$$E_{cA} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ kg} \cdot (1 \text{ m/s})^2 = 0,5 \text{ J}$$

Como no ha hecho contacto con el resorte, su energía potencial elástica es nula. Si tomamos como nivel de referencia para la energía potencial gravitacional la parte horizontal de la trayectoria, en el punto A la energía potencial del cuerpo es:

$$E_{pA} = m \cdot g \cdot h_A = 1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,5 \text{ m} = 4,9 \text{ J}$$

La energía mecánica en el punto A es:

$$E_{mA} = E_{cA} + E_{pA} = 0,5 \text{ J} + 4,9 \text{ J} = 5,4 \text{ J}$$

En el punto B de máxima compresión del resorte, el objeto se detiene, por tanto su energía cinética es nula. Como se encuentra en el nivel de referencia, la energía potencial gravitacional también es nula y la energía potencial elástica, está dada por:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \text{ N/m} \cdot x^2$$

Por tanto, la energía mecánica es igual a:

$$E_{mB} = \frac{1}{2} \cdot 200 \text{ N/m} \cdot x^2$$

De acuerdo con el principio de conservación de la energía, como no hay fuerza de rozamiento,

$$E_{mA} = E_{mB} \text{ entonces, } 5,4 \text{ J} = \frac{1}{2} \cdot 200 \text{ N/m} \cdot x^2, \text{ luego, } x = 0,23 \text{ cm}$$

El resorte se comprime 23 cm

- Como las condiciones del punto A permanecen constantes, la energía mecánica  $E_{mA}$  en dicho punto sigue siendo = 5,4 J. La energía en el punto B, solo es potencial elástica, dada por:

$$E_{mB} = \frac{1}{2} \cdot 200 \text{ N/m} \cdot (0,1 \text{ m})^2 = 1 \text{ J}$$

Esto quiere decir que la energía disipada en forma de calor debido a la fricción es de  $5,4 \text{ J} - 1 \text{ J} = 4,4 \text{ J}$

## Ti Trabajo individual

Resuelve. El resorte de la figura 5.27 de constante 100 N/m se comprime 0,2 m en contacto con el cuerpo y se suelta; entonces, el bloque de 0,5 kg recorre 1 m sobre la superficie horizontal. Calcula el coeficiente de rozamiento entre el bloque y la superficie.



## Ejemplos

1. En una prueba experimental de alcance, un dardo de goma de 80 g es presionado contra un resorte. El resorte, de constante  $k = 250 \text{ N/m}$ , se comprime 5 cm y se libera. Si el dardo abandona el resorte cuando este alcanza su longitud natural, ¿qué rapidez adquiere el dardo? (Despreciar la fricción).

Solución

Cuando el resorte es comprimido por el dardo, la energía potencial que almacena será:

$$E_{p\text{elas}} = \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} \cdot (250 \text{ N/m}) \cdot (-5 \times 10^{-2} \text{ m})^2$$

© Santillana



$$E_{p\text{elas}} = 0,313 \text{ J}$$

Cuando el dardo se libera partiendo del reposo, la energía potencial elástica almacenada en el sistema se transforma en energía cinética ( $\frac{1}{2} m v^2$ ) del dardo, por lo que, al despejar, la rapidez queda:

$$v = \sqrt{\frac{2 E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (0,313 \text{ J})}{80 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}}$$

$$v = 2,80 \text{ m/s}$$

2. Una esfera de masa 5 kg se suelta desde una altura de 2 m. Si al chocar con un resorte que se encuentra en la posición de equilibrio, este experimenta una compresión máxima de 0,50 m, determinar la constante elástica del resorte.

Solución

Calculamos la energía mecánica en el punto A donde se suelta la esfera,  $E_{mA}$

Como el cuerpo se suelta, su velocidad en el punto A es cero, por ende:

$$E_{cA} = \frac{1}{2} \cdot m v_A^2 = 0$$

$$E_{pA} = m \cdot g \cdot h_A = 5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 122 \text{ J}$$

De donde, la energía mecánica en el punto A es:

$$E_{mA} = E_{cA} + E_{pA} = 0 \text{ J} + 122 \text{ J} = 122 \text{ J}$$

Encontramos una expresión para la energía mecánica en el punto B,  $E_{mB}$

En la máxima compresión del resorte, la esfera está detenida, por tanto:

$$E_{cB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = 0 \text{ J}$$

$$E_{pB} = m \cdot g \cdot h_B + \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

$$E_{pB} = 5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0,5 \text{ m})^2$$

$$E_{pB} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0,5 \text{ m})^2$$

Luego, la energía mecánica en el punto B es:

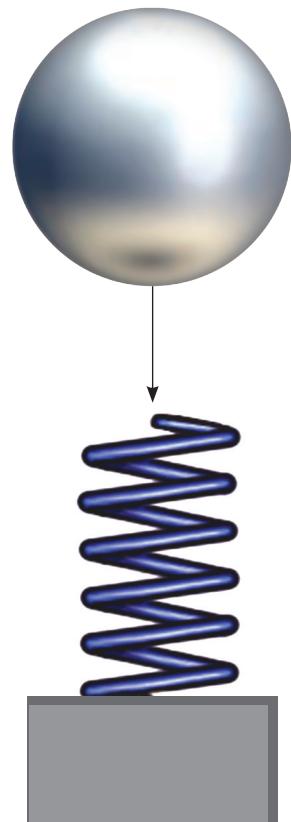
$$E_{mB} = E_{cB} + E_{pB} = 0 \text{ J} + \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0,5 \text{ m})^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0,5 \text{ m})^2$$

En consecuencia:

$$E_{mA} = E_{mB}$$

$$122 \text{ J} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0,5 \text{ m})^2 \quad \text{Al reemplazar} \quad k = 976 \text{ N/m} \quad \text{Al despejar } k$$

La constante elástica del resorte es 976 N/m



© Santillana

## LA ENERGÍA EN LAS COLISIONES

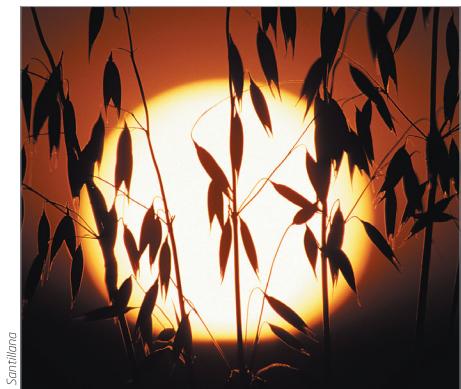


Fig. 5.28. Gran parte de la energía de la cual disponemos en la Tierra procede del Sol.



Fig. 5.29. Central eólica de Mañón (España).



Fig. 5.30. Central maremotriz de La Rance (Francia).

Las colisiones son procesos de interacción que duran muy poco tiempo. Podemos clasificar los choques en función de las transferencias de energía que ocurren en ellos. Las diferentes posibilidades dependen de si el mecanismo de interacción es conservativo o disipativo, es decir, en términos de si la energía se conserva o no.

Se dice que una colisión es **elástica** si la energía cinética total de los dos objetos antes del choque es igual a la energía cinética total después del choque. Es decir que, en estas colisiones la energía cinética se intercambia entre los objetos que chocan. Por ejemplo, en el modelo de los gases ideales, se considera que las moléculas se desplazan a grandes velocidades y chocan entre ellas en forma elástica.

Se dice que una colisión es **inelástica** si parte de la energía cinética total de los objetos que interactúan, durante la colisión se transforma en calor, sonido u otras formas de energía. Este es el caso de la colisión de dos automóviles.

## FUENTES DE ENERGÍA

Se denominan *fuentes de energía* o *recursos energéticos* a todos aquellos componentes de la naturaleza a partir de los cuales es posible obtener energía utilizable por el ser humano. Casi todas las fuentes de energía proceden en última instancia del Sol (**fig. 5.28**).

La energía solar se puede utilizar de manera directa o en la producción de otros recursos energéticos. Así, las plantas utilizan directamente la energía solar para producir su alimento, crecer. De la misma forma se originan nuevos recursos energéticos como el carbón, que proceden de la fosilización de cantidades inmensas de plantas que han estado enterradas durante miles de años.

Las fuentes de energía, por lo general, se clasifican dependiendo de si se agotan con el paso del tiempo o si son prácticamente inagotables.

- Las **energías renovables** son aquellas que existen en cantidades prácticamente ilimitadas y por tanto, es difícil que se agoten por mucho que se utilicen. Son ejemplo la energía solar, la hidráulica, la eólica, la de la biomasa y la maremotriz (**fig. 5.29**).
- Las **energías no renovables** son aquellas que existen en cantidades limitadas en la naturaleza, de forma que se agotan a medida que se van utilizando. Entre las energías no renovables están la energía del gas natural, la del petróleo, la del carbón, la geotérmica y la nuclear (**fig. 5.32**).

Las fuentes de energía también pueden clasificarse atendiendo a la incidencia que tengan en la economía de un país en un momento determinado. Así se tienen energías convencionales y las energías no convencionales.

- Se llaman **fuentes de energía convencionales** aquellas que tienen una gran incidencia en el consumo energético de los países industrializados. Entre las fuentes de energía convencionales se pueden citar todas las fuentes de energía no renovables y la energía hidráulica. (**fig. 5.30**)
- Se llaman **fuentes de energía no convencionales o energías alternativas** aquellas que se encuentran en fase de estudio con el propósito de sustituir o reforzar en un futuro a las fuentes de energía convencionales.



## LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS

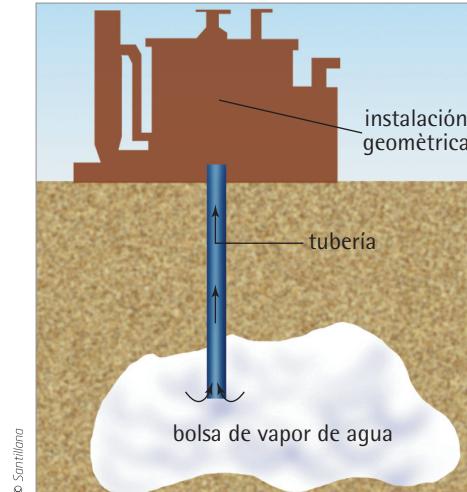


Fig. 5.31. Esquema de una central geotérmica.

- La **energía solar**. La Tierra recibe continuamente energía procedente del Sol. Esta energía se aprovecha en las centrales solares.
- La **energía eólica**. Puesto que el viento es aire en movimiento, le asociamos una energía cinética que puede transformarse en otras energías en las centrales eólicas. Una central eólica está compuesta por varias hélices que giran por acción del viento, las cuales están conectadas a generadores de corriente eléctrica y se sitúan en los extremos de torres de gran altura.
- La **energía maremotriz**. La mareas, es decir, el movimiento de las aguas del mar producen energía que se transforma en electricidad en las centrales maremotrices. Estas centrales se sitúan en los golfo y son enormes diques provistos de compuertas que se construyen de un lado al otro del golfo cerrándolo.
- La **energía geotérmica**. En el subsuelo de las regiones volcánicas hay grandes bolsas de vapor de agua a elevada temperatura. A este vapor le asociamos una energía que también se transforma en electricidad en las centrales geotérmicas. Allí existen enormes tuberías que conectan los contenedores de vapor con las turbinas de uno o varios generadores de corriente. El vapor asciende por dichas tuberías y al llegar a las turbinas las hace girar, produciendo así una corriente eléctrica (**fig. 5.31**).
- La **energía de la biomasa**. En los últimos años se ha investigado el aprovechamiento de los residuos orgánicos para obtener energía. Así, por ejemplo, la quema de ciertos productos agrícolas de desecho, como la paja, puede dar lugar a vapores utilizables para obtener energía mecánica. Por otra parte, del estiércol puede obtenerse gas y del heno, alcohol.

## EL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Uno de los **principios fundamentales de la física es el principio de conservación de la energía**, que podemos enunciar de la siguiente manera:

**La energía ni se crea ni se destruye. En cualquier sistema, la energía puede transformarse y/o transferirse, pero el balance total de energía del sistema permanece constante.**

Como todo principio físico, la conservación de la energía se aplica a una enorme gama de fenómenos en los que están involucrados diversos tipos de energía.

Por ejemplo, la energía química contenida en compuestos como la gasolina, los alimentos o el carbón, se transforma en movimiento, calor y trabajo, mientras que una parte se convierte en residuos con pocas posibilidades de ser utilizados por el ser humano. Es el caso del esmog o la orina.

Sin importar qué tipo de transformaciones ocurran, siempre se cumple que la cantidad total de energía de un sistema especificado y sus alrededores permanece constante.

A partir de la ecuación  $E = mc^2$  planteada por Albert Einstein, se establece que la energía puede transformarse en masa y que la masa a su vez puede convertirse en energía. Así, podemos extender el principio de conservación de la energía para incluir también a la masa. De esta manera, puede afirmarse que la cantidad total de energía y masa del Universo permanece constante, independientemente de las transformaciones que experimente una y otra.

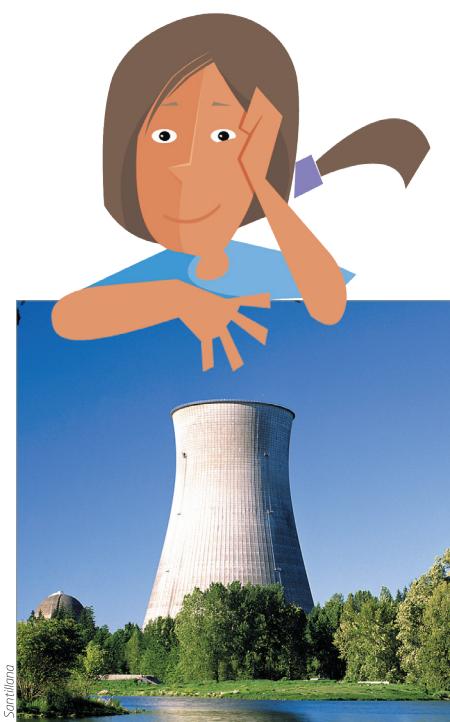


Fig. 5.32. El aprovechamiento de la energía nuclear es una de las principales aplicaciones de la equivalencia entre masa y materia.

# Problemas de ampliación

Reconoce situaciones en las que existe trabajo realizado por una fuerza.

1. **Responde.** ¿Cuándo una fuerza no conservativa actúa sobre un objeto?

Identifica diferentes tipos de energía.

2. Escoge una de las proposiciones verdaderas, justifica tu respuesta: La energía mecánica equivale a:

- la suma de dos energías cinéticas.
- la suma de la energía potencial y la energía química.
- la energía potencial y la energía cinética.
- la suma de la energía eléctrica y energía radiante.

3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones no se cumplen en una colisión elástica? ¿Por qué?

- La energía total se conserva.
- La energía cinética es la misma antes y después de la colisión.
- La energía mecánica se disipa.
- Hay intercambio de energía entre los objetos que colisionan.

4. Una esfera choca contra un resorte y lo comprime. ¿Qué tipos de energías se manifiestan en esta situación?

5. ¿Cuál es la energía que se relaciona con un resorte comprimido?

Identifica los recursos renovables y no renovables.

6. A continuación se dan algunos recursos energéticos, clasifícalos en renovables, no renovables, convencionales o alternativos, según corresponda.

- Carbón
- Agua
- Uranio
- Viento
- Residuos orgánicos
- Petróleo
- Mareas
- Sol

7. ¿En qué consiste el principio de conservación de la energía?

Analiza y explica fenómenos físicos.

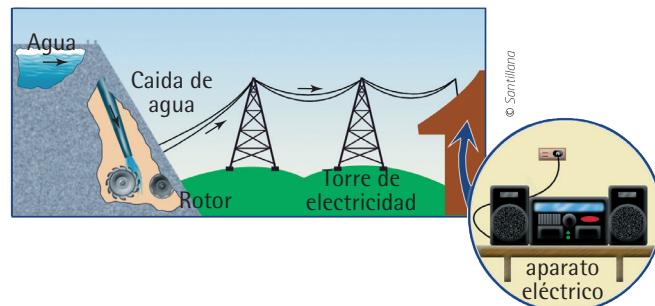
8. Un resorte se pone a oscilar verticalmente. Describe los puntos donde la energía cinética es mayor, la energía potencial es mayor, la energía potencial elástica es mayor, la energía cinética es cero y la energía potencial elástica es mínima.

9. Explica por qué no se necesita la masa de un objeto en caída libre para determinar la velocidad con la que llega al piso.

10. Identifica la clase de energía que tiene un objeto que ha sido lanzado verticalmente en los siguientes puntos:

- Un instante después de ser lanzado.
- En la mitad de su trayectoria.
- En la parte más alta de su trayectoria.

11. Explica todas las transformaciones de la energía presentes en la figura.



12. Un resorte de constante elástica  $k$  se comprime sobre la superficie de una mesa, ¿el resorte puede saltar de la mesa al soltarlo? Justifica tu respuesta.

13. Desde lo alto de un plano inclinado sin rozamiento se deja rodar una esfera de masa  $m$ . Si el plano tiene altura  $h$ , ¿la velocidad depende de la esfera o del ángulo de inclinación del plano?

14. Explica por qué no es posible que un objeto pueda rebotar a una altura mayor que aquella desde la que se soltó.

15. Dos objetos que se mueven con velocidades  $v$  y  $2v$  chocan entre sí. Si las masas son idénticas, ¿es posible que uno de ellos quede en reposo después de la colisión?

16. Si en un choque inelástico, los objetos que chocan quedan en reposo, ¿qué podemos decir de sus respectivas energías? ¿Y de la energía mecánica total?

Analiza y resuelve problemas de conservación de la energía.

17. Un resorte de constante elástica  $16 \text{ N/m}$  se comprime  $20 \text{ cm}$ . ¿Cuál es la energía potencial elástica?



18. Una colina sin rozamiento tiene una altura de 30 m, como se muestra en la figura. ¿Cuál es la velocidad de una pelota (pelota considerada como partícula), que rueda por la colina en la parte baja, si parte del reposo?



19. Calcula la velocidad que necesita un saltador de garrocha de 50 kg, para alcanzar una altura de 3,5 m.

20. Una pelota de masa  $m = 30$  g, cae desde una altura de 40 m. Si cae sobre un resorte de constante elástica  $k = 500$  N/m, ¿cuál es la compresión máxima del resorte?

21. Un resorte estirado tiene 200 J de energía potencial elástica. Si la constante elástica del resorte es 3 000 N/m, ¿hasta qué distancia se extiende el resorte a partir de su posición de equilibrio?

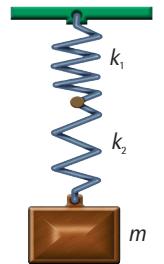
22. Un bloque de 500 g se encuentra unido a un resorte de constante  $k = 1\,500$  N/m, sobre una superficie sin fricción, como se observa en la figura. Si el resorte está comprimido 30 cm, ¿con qué velocidad sale disparado el bloque B?



23. Una pelota de 2 kg rueda por una colina de 20 m de altura. Debido al rozamiento se disipan 100 J de energía. ¿Con qué velocidad llega la pelota al pie de la colina? Si en el pie de la colina se encuentra un resorte de constante elástica  $k = 2\,000$  N/m, ¿qué distancia se comprime debido al impacto de la pelota?

24. Una bala de 100 g choca contra un péndulo de madera de masa 0,5 kg en reposo. Si la bala queda dentro del péndulo y este sube hasta una altura de 30 cm, ¿con qué velocidad venía la bala?

25. Dos resortes de constantes elásticas  $k_1 = 200$  N/m y  $k_2 = 400$  N/m, respectivamente, se ponen uno a continuación del otro como se observa en la figura. ¿Qué energía almacena cada resorte para recuperar su posición si se suspende de ellos un bloque de 1 500 g?



© Santillana

26. Un péndulo con una plomada de 200 g tiene 0,70 m de longitud en su arco máximo. La cuerda del péndulo forma un ángulo de 45° respecto a la vertical, ¿cuál es el trabajo realizado por la tensión de la cuerda?

27. Un resorte de constante elástica  $k = 700$  N/m tiene almacenada una energía potencial de 2 000 J cuando se estira una distancia  $x$ , ¿en cuánto aumenta su energía si el resorte aumenta su estiramiento en 10 cm más?

## L Lección

Analiza y explica fenómenos físicos.

1. Se tienen dos resortes (idénticos) de constantes elásticas  $k_1$  y  $k_2$ . Si ambos se comprimen con la misma fuerza, ¿cuál de ellos almacena más energía potencial elástica?

Analiza y resuelve problemas de conservación de la energía.

2. Una pelota se deja caer desde una altura de 200 m, ¿cuál es la velocidad de la pelota justo antes de tocar el piso?

3. Un cuerpo de 2,5 kg de masa empieza a subir por un plano inclinado con rapidez de 36 km/h. Si la inclinación del plano es de 36° y el cuerpo, antes de detenerse, alcanza a desplazarse a lo largo del plano una distancia 6 m, calcula:

- Trabajo realizado durante el ascenso para vencer la fuerza de rozamiento.
- Rapidez con la cual llega al pie del plano después de detenerse y descender por él.

## I Investiga

Investiga y analiza fenómenos físicos.

Un resorte de constante elástica  $k$  se comprime inicialmente  $x_1$  de su longitud sin deformar, ¿cuál es el cambio de su energía si a continuación se comprime una distancia adicional  $x_2$  respecto de su longitud sin deformar?. Justifíque.

# Problemas de ampliación

Identificar los distintos tipos de energía.

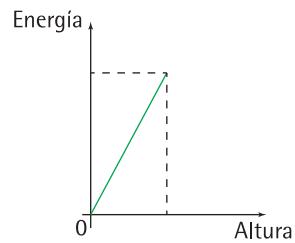
1. **Describe las transformaciones de energía que experimenta un objeto al caer si no se considera la fricción. ¿Qué variación tendría tu respuesta si consideras la fricción?**
2. **Plantea un ejemplo de una situación en la cual la energía cinética se transforme en energía potencial y otro ejemplo en el cual la energía cinética se transforme en calor.**
3. **¿Qué significado tendría que a un objeto se le asigne energía potencial negativa?**

Resuelve problemas relacionados con energía.

4. **Un esquiador de 80 kg se lanza por una pendiente de  $5^\circ$  de desnivel y recorre 200 m. Si el esquiador llega a la base de la pendiente con una rapidez de 12 m/s, calcula la cantidad de energía disipada en forma de calor.**

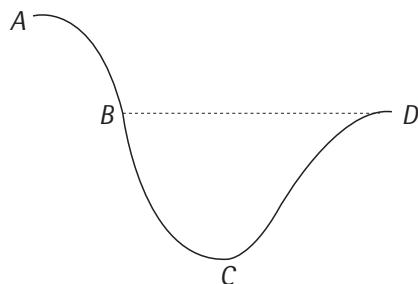
Identifica la energía cinética y mecánica del movimiento.

5. **La gráfica muestra la energía potencial gravitacional en función de la altura de un objeto que cae. Representa la energía-cinética y la energía mecánica en función de la altura para este objeto que cae.**



Resuelve situaciones relacionadas con energía mecánica.

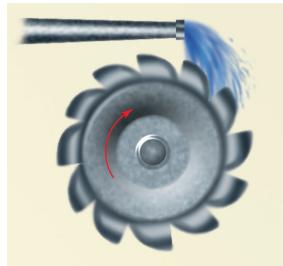
6. **Un cuerpo se suelta en el punto A y sigue la trayectoria mostrada.**



- a. Si no se considera la fricción, ¿en qué punto tiene la máxima energía mecánica?
- b. Si se considera la fricción, ¿en qué punto tiene la máxima energía mecánica?

7. **La figura muestra una turbina cuyos álabes giran cuando cae agua sobre ellos.**

¿La velocidad de giro de la turbina depende de la altura desde la cual cae el agua? Explica.



© Santillana

8. **¿Cuál es la fuente de energía cuando un atleta practica salto con garrocha? Describe las transformaciones de energía en el movimiento del atleta.**

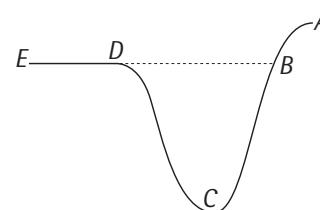
Propone ejemplos sobre energía.

9. **Plantea un ejemplo en el cual se conserve la energía cinética.**
10. **Plantea un ejemplo en el cual se conserve la energía potencial.**

## L Lección

Verifica conceptos relacionados con los distintos tipos de energía.

1. Considera que hay fricción. Si se suelta un cuerpo desde el punto A, indica en cuál de los puntos A, D y B, el objeto tiene:
  - a. La mayor energía mecánica.
  - b. La mayor energía potencial.
  - c. La mayor energía cinética.
2. Un hombre sube un bulto por una escalera con velocidad constante.
  - a. ¿Qué variaciones tiene la energía cinética mientras la persona esté en movimiento? Explica tu respuesta.
  - b. ¿Se conserva la energía mecánica? Explica tu respuesta.



## I Investiga

Investiga conceptos sobre energía.

1. ¿Por qué las cápsulas espaciales se calientan tanto cuando entran en la atmósfera terrestre?
2. Muchas carreteras que conducen a la cima de una montaña se construyen en zigzag. ¿Qué ventajas tiene este hecho desde el punto de vista de la conservación de la energía y de la potencia consumida por el motor?

# Evaluación

**Indicador esencial de evaluación:** Identifica diferentes tipos de energía.

**1 punto**

1. Indica qué tipos de energía intervienen cuando se ponen en funcionamiento cada uno de los siguientes artefactos:

- a. una licuadora
- b. un celular
- c. una bicicleta

**Indicador esencial de evaluación:** Identifica diferentes tipos de energía.

**2 puntos**

2. Da ejemplos de situaciones en las que se producen las siguientes transformaciones de energía:

- a. de energía eléctrica a energía sonora
- b. luminosa a eléctrica
- c. cinética a potencial
- d. cinética a eléctrica
- e. eléctrica a cinética
- f. química a eléctrica

**Indicador esencial de evaluación:** Identifica diferentes tipos de energía y su transformación..

**1,5 puntos**

3. Señala qué tipo de transformación de energía se produce en cada uno de los dispositivos que se nombran a continuación:

- a. una placa fotovoltaica
- b. un molino de viento
- c. una central hidroeléctrica

**Indicador esencial de evaluación:** Analiza situaciones de conservación de energía.

**1 punto**

4. Una pelota que cae desde cierta altura, al chocar con el suelo rebota y vuelve a ascender hasta una altura menor. Si dejamos que siga su movimiento, comprobaremos que rebota varias veces en el suelo, pero cada vez alcanza menos altura. Por último, la pelota termina quieta en el suelo sin la energía que poseía al principio. ¿Se cumple el principio de conservación de la energía? ¿Se transfiere la energía? Justifica tu respuesta.

**Indicador esencial de evaluación:** Analiza situaciones de conservación de energía.

**1 punto**

5. La energía eléctrica es una de las que más se consumen en nuestros hogares, en las escuelas y en las industrias. ¿De dónde procede esa energía?

**Indicador esencial de evaluación:** Identifica diferentes tipos de energía y aplica el principio de conservación de la energía.

**3 puntos**

6. Determina cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas y cuáles, falsas. Justifica cada respuesta.

- a. Un cuerpo ubicado a un metro de altura sobre la superficie de la Luna tiene menos energía potencial gravitatoria que el mismo cuerpo ubicado a un metro de altura sobre la superficie terrestre.
- b. Cuando un cuerpo cae, aumentan al mismo tiempo su energía potencial gravitatoria y su energía cinética.
- c. Si un cuerpo duplica su velocidad, su energía cinética también se duplica.
- d. Si un cuerpo duplica su masa, sin variar su velocidad, su energía cinética también se duplica.
- e. Si un resorte se comprime  $x$  (cm) y luego se comprime  $2x$  (cm); entonces la energía elástica también se duplica.

**Indicador esencial de evaluación:** Identifica diferentes tipos de energía y aplica el principio de conservación de la energía.

**0,5 puntos**

7. Explica la siguiente aseveración.

Las lámparas comunes tienen una eficiencia del 5%, esto significa que pierden mucha energía.

## Coevaluación

Formen parejas y presenten tres ejemplos de transformaciones energéticas que realicen en sus hogares a partir de la energía eléctrica. Luego, reúnanse en grupos más grandes y escriban las conclusiones a las que llegaron.

## Autoevaluación (Metacognición)

Explica, mediante ejemplos de situaciones cotidianas, el trabajo, la potencia y la energía.

**Biosfera, ecología urbana y energías alternativas**

La eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la salud de la sociedad, su alimentación, el equilibrio ecológico de los ecosistemas, entre otras, es lo que humanidad está buscando desde hace mucho tiempo.

## Energías alternativas

Casi toda la energía usada en el mundo hasta hace cerca de treinta años provenía de combustibles fósiles. Sin embargo, la crisis energética que impactó al mundo en esa época dejándolo casi sin combustible, obligó a los principales países a replantear sus mecanismos de generación de energía. Desde entonces, se han desarrollado sistemas de obtención de energía sin destrucción del medioambiente, a partir de fuentes de energía alternativas y renovables como el Sol, el viento y el calor del interior de la Tierra. Estas son medidas económicas que las convencionales (de hecho muchas son gratis), no están sujetas a intereses internacionales, y constituirán la principal fuente de electricidad de los más de dos billones de personas que carecen de ella en el mundo.

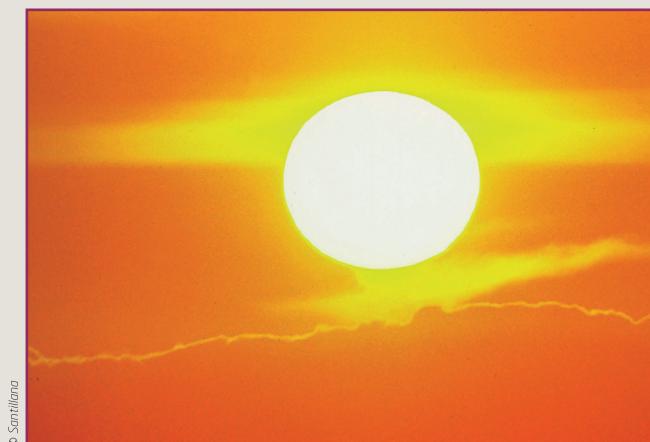
### La energía solar

La energía solar, producida por reacciones de fusión nuclear en el Sol, atraviesa el espacio en forma de fotones y llega a la Tierra manifestándose en los vientos, las olas y las lluvias. Al atravesar la atmósfera cerca del 60 % de la energía es reflejada y absorbida por las nubes y otras partículas, sin embargo, el 40 % que llega a la superficie terrestre es más que la que usamos y podría llegar a satisfacer todas nuestras necesidades. La energía solar puede ser convertida en electricidad mediante células fotovoltaicas, o en calor, mediante colectores térmicos.

Las células fotovoltaicas tienen la propiedad de convertir directamente la luz solar que incide en ellas en energía eléctrica. Utilizan materiales semiconductores, como el silicio, interconectados y encapsulados en material aislante formando un módulo fotovoltaico o panel solar.

Los paneles generan una corriente eléctrica continua que puede usarse directamente para hacer funcionar electrodomésticos u otros aparatos, o ser almacenada en baterías. Aunque producen más energía en los días soleados, también funcionan en los días nublados, pero con menor rendimiento.

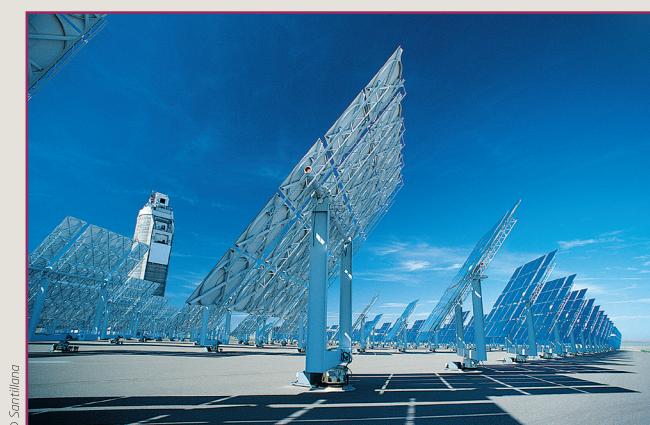
Los colectores térmicos pueden ser de placa plana o de concentración. Los primeros interceptan la radiación solar en una placa de absorción, y la transfieren en forma de calor a un fluido portador en estado líquido o gaseoso que se calienta hasta 82°C.



© Santillana  
La energía solar no se distribuye equitativamente en la Tierra, sino que depende de la época del año, del día, de la hora y de la latitud.

Están cubiertos por placas transparentes que minimizan las pérdidas de calor, y cuentan con un lecho de roca o un tanque aislado como medio de almacenamiento de energía.

Son utilizados en sistemas domésticos de agua caliente y calefacción. Para las necesidades industriales estos no son eficaces, por lo que se usan colectores de concentración. Estos siguen el movimiento del Sol, y reflejan y concentran la energía solar sobre una pequeña zona receptora elevando su temperatura en cientos o miles de grados.



© Santillana  
El Sol emite energía en forma de ondas electromagnéticas que atraviesa el espacio en forma de fotones hasta llegar a la Tierra.



## La energía eólica

Hoy nadie duda que el viento, además de formar parte de los factores ambientales, es una fuente promisoria de energía limpia, inagotable y no contaminante, que puede servir como alternativa y competir efectivamente con los combustibles fósiles. Las turbinas de alta tecnología, utilizadas para convertir la energía eólica en electricidad, pueden tener menos de un metro, o ser tan grandes como la Estatua de la Libertad con cerca de 100 metros de altura.

Producen desde menos de 1 kilovatio hasta varios megavatios, y actualmente satisfacen las necesidades eléctricas de millones de hogares. Son instaladas en áreas relativamente pequeñas dentro de las que menos del 5 % es ocupado con turbinas, y el 95 % restante puede ser destinado a otros procesos productivos.

Se calcula que para el año 2020, en Estados Unidos cerca de 10 millones de hogares serán suplidos de electricidad eólica, y que posteriormente podría suplir el 20% de su demanda, previniendo la emisión de cientos de millones de toneladas y metros cúbicos de CO<sub>2</sub> al ambiente cada año.



© Santillana

Los seres humanos se benefician del viento para la navegación de los barcos, para transportar agua, moler cereales mediante los molinos y para producir electricidad.



© Santillana

Los volcanes son la manifestación de las energías geotérmicas que se desarrollan en el interior de la corteza terrestre.

## Centrales geotérmicas

Las centrales geotérmicas aprovechan el intenso calor del interior de la Tierra para producir energía útil para el consumo humano, como la electricidad y el calor.

Conforme se desciende hacia el interior de la corteza terrestre se produce un aumento de temperatura de cerca de un grado cada 37 metros. Las zonas más calientes quedan a cerca de 50 km de profundidad haciendo muy costosa su explotación; sin embargo, existen zonas como las volcánicas, donde las altas temperaturas están a nivel más superficial y su explotación es más rentable.

Una central geotérmica consta de una perforación, generalmente de varios kilómetros de profundidad, que llega a zonas con temperaturas extremadamente elevadas en la corteza terrestre. En la perforación se introducen dos tubos cuyos extremos se mantienen en contacto directo con la fuente de calor. Por uno se inyecta agua fría desde la superficie, cuando llega al fondo se calienta y sube hacia la superficie por propulsión a chorro a través del otro tubo que tiene acoplada una turbina con un generador de energía eléctrica.

### Actividades

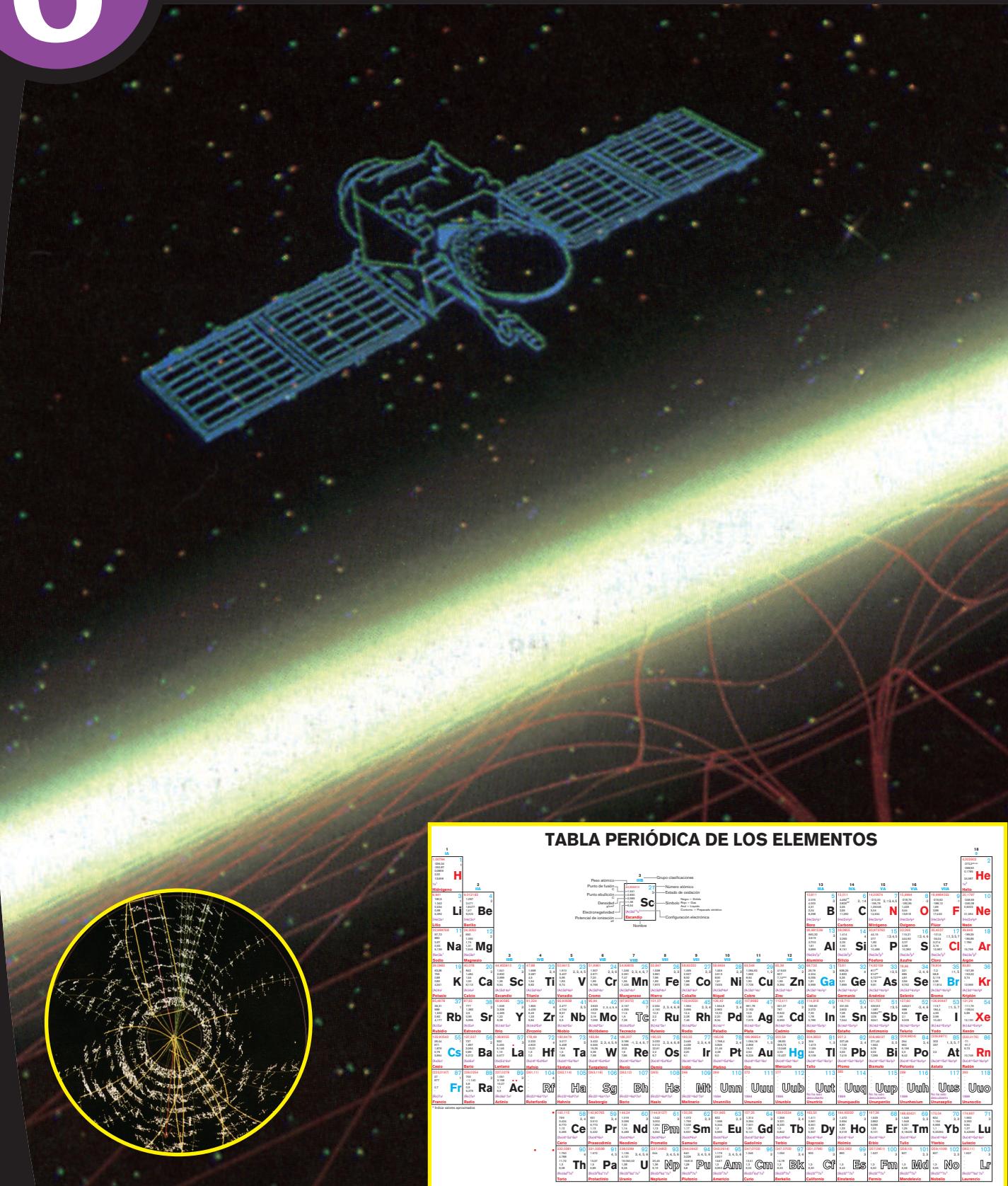
¿Crees que las energías alternativas mencionadas son susceptibles de ser explotadas en cualquier lugar? ¿Si pudieras montar una instalación de cada una de ellas buscarías lugares del país en los que se den estas condiciones? ¿Por qué se dice que estas energías son renovables?

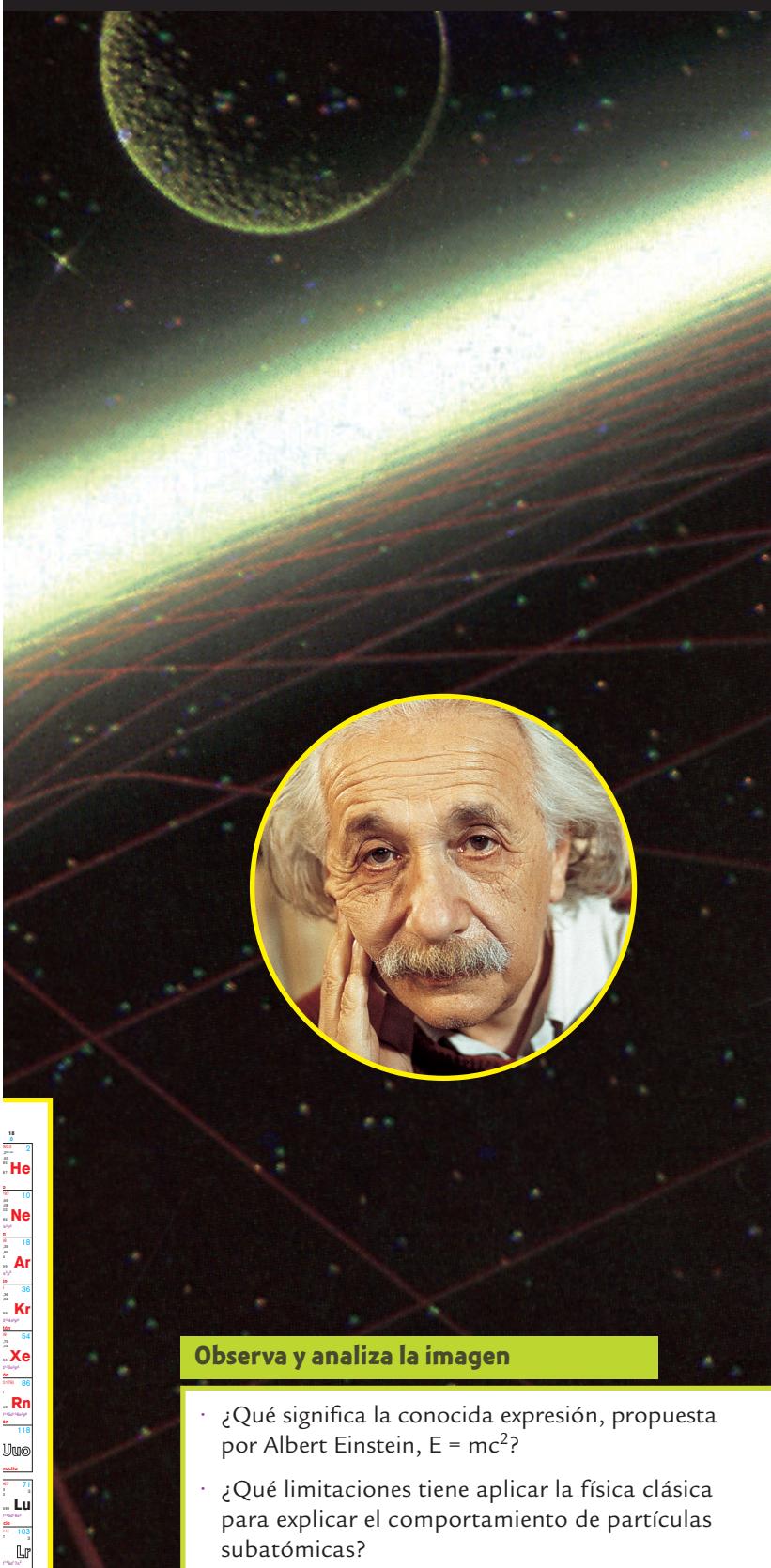
### I Investiga

- Consulta acerca de otros tipos de energías alternativas como el hidrógeno, la biomasa y la energía nuclear.
- La mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> están relacionadas con el empleo de carburantes en los automóviles. Investiga acerca de los adelantos en el uso de energías alternativas en la industria automotriz.

# Bloque 6

## Física atómica y nuclear





### Observa y analiza la imagen

- ¿Qué significa la conocida expresión, propuesta por Albert Einstein,  $E = mc^2$ ?
- ¿Qué limitaciones tiene aplicar la física clásica para explicar el comportamiento de partículas subatómicas?

A finales del siglo XIX, con las leyes de Newton para la dinámica y las ecuaciones de Maxwell para los fenómenos electromagnéticos, se podía explicar satisfactoriamente la mayoría de los fenómenos conocidos.

Sin embargo, esta física, a la que se conoce con el nombre de *física clásica*, resultó insuficiente para explicar el comportamiento de los átomos y de sus componentes, las partículas subatómicas. La física clásica, útil para describir el entorno directamente observable, no era aplicable para interpretar el mundo de lo muy pequeño. Los datos recogidos y las inconsistencias teóricas entre esta información, llevaron a los físicos de principios del siglo XX a desarrollar la física cuántica.

En el siglo XX, la teoría de la relatividad produjo un rompimiento de las ideas existentes sobre el espacio y el tiempo.

La física cuántica y la teoría de la relatividad ofrecen una nueva forma de interpretar el mundo.

### Objetivo educativo

Comprender los principios de la Física nuclear y describir el comportamiento de las partículas atómicas, a partir del análisis de las formas en que la energía atómica puede ser aprovechada para beneficio de la humanidad.



Compotera de coco y mate.  
Artesanía elaborada en Esmeraldas.

# Partículas elementales del átomo

## Destreza con criterio de desempeño:

Describir los componentes básicos de la materia, a partir de la identificación de las partículas que constituyen el átomo y de sus valores de carga y masa.

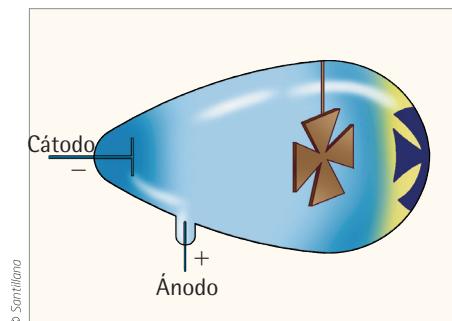


Fig. 6.1. Los rayos catódicos se propagan en línea recta pues se producen sombras definidas de obstáculos interpuestos en su camino.

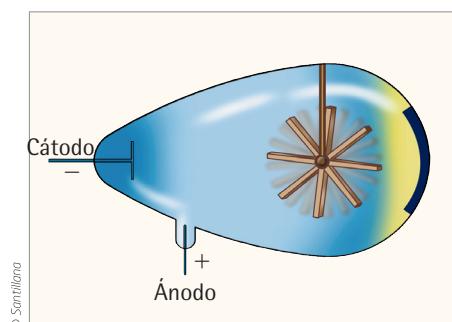


Fig. 6.2. Los rayos catódicos son un flujo de partículas, pues hacen girar una rueda de paletas interpuesta en su camino.

## Tarea

Responde: ¿Actualmente sigue considerándose el átomo como indivisible? ¿Por qué?

## EL ÁTOMO: RESEÑA HISTÓRICA

### Conocimientos previos

Los átomos son la base de todos los compuestos químicos conocidos, están formados por partículas cargadas y por lo tanto se establece una relación entre la electricidad y la materia. La unión de varios de ellos forman las moléculas.

Durante muchos años, el trabajo de los físicos estuvo dedicado a comprender la estructura de la materia. ¿Cuáles crees que son las ventajas que este conocimiento aportó a la humanidad? ¿Crees que generó también desventajas? ¿Por qué?

El filósofo jonio Demócrito, en el siglo V a. de C., fue el primero en exponer al átomo como algo indivisible que conforma la materia. Desde entonces, la idea de átomo fue olvidada por algunos y concebida por otros.

Los químicos de finales del siglo XVIII propusieron los primeros fundamentos empíricos del atomismo. **John Dalton** (1766 - 1844) interpretó como manifestaciones observables de una teoría atómica que algunos elementos químicos parecen más ligeros que otros y que siempre se mezclan en proporciones definidas. Aunque a finales del siglo XIX se sospechaba que los átomos no eran indivisibles, la aceptación general de este hecho se produjo con las experiencias con tubos de descarga realizadas por **J. J. Thomson** (1856 - 1940).

Un tubo de descarga consiste en un tubo de vidrio provisto de dos electrodos, uno positivo o **ánodo** y otro negativo o **cátodo**, conectados a una fuente de alto voltaje. En el interior del tubo se encierra un gas a baja presión. Cuando se cierra el circuito, se observa que se produce el paso de corriente a través del gas, al mismo tiempo que aparece una luminosidad que se concentra en el extremo del ánodo. A las radiaciones emitidas por el cátodo se les llama **rayos catódicos**.

Los objetos colocados dentro del tubo obstruyen el paso del haz de rayos. Es el caso de la llamada *cruz de Malta* (fig. 6.1), la cual forma una sombra definida, lo que confirma que los rayos viajan en línea recta.

Thomson hizo pasar un haz de rayos por el medio de un par de placas cargadas y encontró que estos rayos se desvían como si fueran partículas cargadas negativamente. También, encontró que estos producen efectos mecánicos como el de mover unas aspas que se interponen en su camino. Por consiguiente, se puso en evidencia que estos rayos tienen masa (fig. 6.2). Thomson encontró que la relación entre la carga y la masa de las partículas que componen los rayos catódicos es siempre la misma. Concluyó que debía tratarse de cargas negativas transportadas por partículas de materia a las que llamamos **electrones**.

## EL MODELO ATÓMICO DE THOMSON

Puesto que la materia en conjunto es eléctricamente neutra y los electrones tienen carga negativa, cada átomo debería tener una carga positiva cuyo valor fuera exactamente igual a la carga debida a los electrones.

Siguiendo este razonamiento, J. J. Thomson propuso, en 1903, un modelo de átomo. Según este modelo, los electrones estaban localizados en una distribución esférica continua de carga positiva (fig. 6.3).

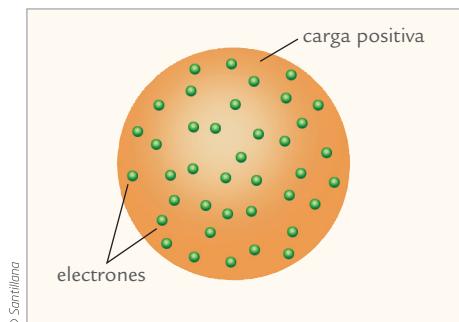


Fig. 6.3. Esquema del modelo atómico de Thomson.



Fig. 6.4. En las centrales nucleares se libera energía a partir de materiales radiactivos.

## LA RADIACTIVIDAD

Posterior al descubrimiento de los rayos X por **Wilhem Röntgen** en 1895, **Henri Becquerel** (1852-1908) estudió la posibilidad de que la luz solar provocara en ciertas sales de uranio la emisión de rayos penetrantes como los rayos X y que dichos rayos impresionaran una placa fotográfica. Durante unos días guardó las sales junto con las placas fotográficas y al revelarlas encontró que se habían impresionado con gran intensidad. Descubrió que las sales de uranio emitían ciertas radiaciones penetrantes, que no eran idénticas a los rayos X y que parecían ser emitidas independientemente de cualquier influencia externa. Becquerel atribuyó este hecho a rayos emitidos por el uranio. Así fue como en 1896, Becquerel descubrió la **radiactividad natural**.

En 1898, **Marie Curie** (1867-1934), en compañía de su esposo **Pierre Curie** (1859-1906), descubrió que el elemento torio emitía rayos similares a los emitidos por las sales de uranio; dedujo que este fenómeno estaba asociado a los átomos y que era independiente de su estado físico o químico. A partir de un mineral de uranio, descubrieron dos nuevos elementos, el polonio y el radio. Posteriormente se encontraría una relación entre materia y energía que permitió comprobar la expresión  $E = mc^2$  y que en los procesos de fisión nuclear permiten obtener grandes cantidades de energía (fig. 6.4).

**Ernest Rutherford** (1871-1937) reconoció la existencia de, al menos, dos emisiones radiactivas, denominadas rayos alfa ( $\alpha$ ) y rayos beta ( $\beta$ ). También reconoció que los elementos radiactivos emiten rayos gamma ( $\gamma$ ). Previamente se determinó la existencia de electrones (haces de rayos catódicos) protones de carga positiva y los neutrones que tenían una masa mayor que las anteriores pero carecían de carga.

Estos tres tipos de radiación se pueden diferenciar por la acción de campos eléctricos o magnéticos sobre ellos (fig. 6.5).

- Los **rayos alfa** ( $\alpha$ ) son poco penetrantes, ya que son detenidos por una hoja de papel. Consisten en un flujo de partículas, cada una de ellas con dos protones y dos neutrones.
- Los **rayos beta** ( $\beta$ ) son más penetrantes que los rayos alfa, aunque son detenidos por una lámina metálica. Consisten en un flujo de electrones.
- Los **rayos gamma** ( $\gamma$ ) son muy penetrantes, para detenerlos se necesita una pared gruesa de plomo o concreto. Son radiaciones electromagnéticas altamente energéticas cuyas longitudes de onda están comprendidas entre  $10^{-10}$  m y  $10^{-13}$  m.

El tipo más común de desintegración produce la emisión de partículas beta y ocurre cuando un neutrón presente en el núcleo inestable se convierte en un protón con la emisión de un electrón y de un anti-neutrino, o bien cuando, menos frecuente, un protón se convierte en un neutrón con la emisión de un positrón y de un neutrino. Estas transformaciones beta van acompañadas de un cambio en el número atómico sin cambio en el número de masa.

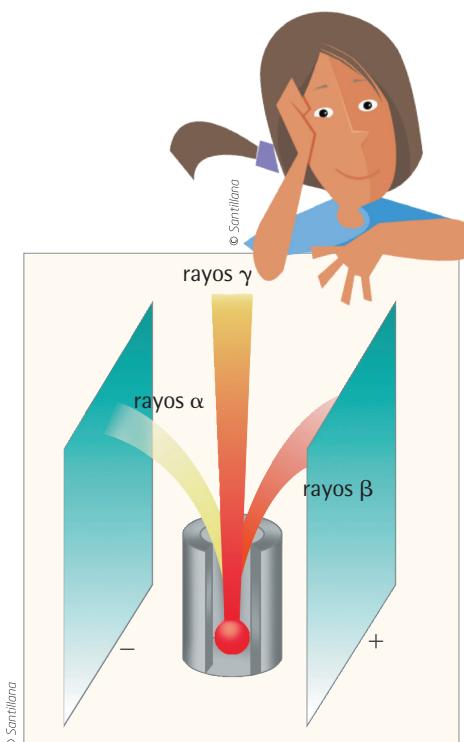


Fig. 6.5. Radiaciones nucleares. La carga eléctrica de las partículas a es positiva, la carga eléctrica de las partículas b es negativa y los rayos g son neutros eléctricamente.

Destreza con criterio de desempeño:

Identificar características del modelo atómico de Rutherford.

## ÁTOMO DE RUTHERFORD

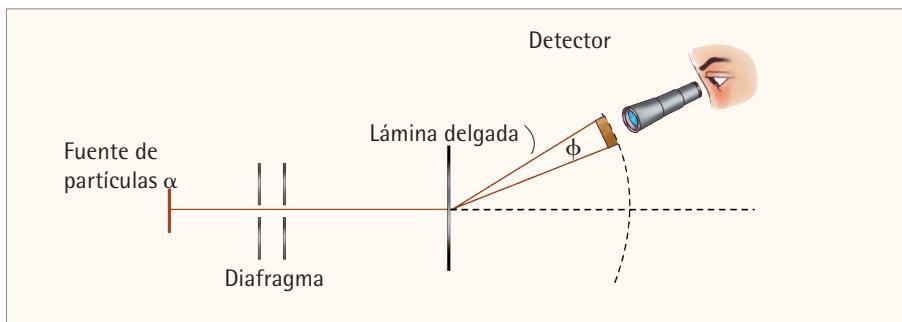
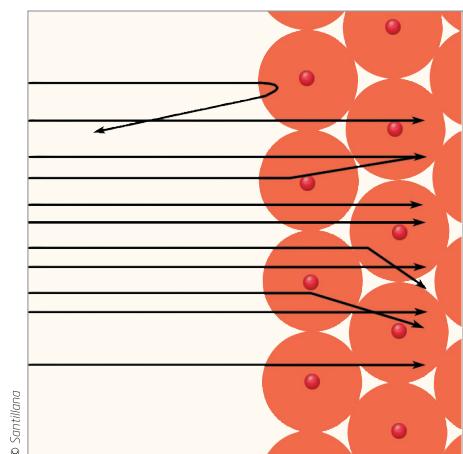


Fig. 6.6. Experimento de Rutherford. El detector se ubica en diferentes posiciones, cada vez que una partícula a incide sobre él, se produce un destello.

© Santillana



© Santillana

Fig. 6.7. Algunas partículas a experimentan grandes desviaciones al chocar con núcleos atómicos.

### CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE RUTHERFORD

**Rutherford**, basándose en el reciente descubrimiento de la radiactividad natural, diseñó un dispositivo mediante el cual bombardeaba láminas de oro muy delgadas con las partículas  $\alpha$  emitidas por materiales radiactivos.

Si la masa y la carga positiva de los átomos se encontraran uniformemente distribuidas en todo el volumen atómico, las partículas  $\alpha$ , que tienen carga positiva, debían desviarse ligeramente al atravesar la lámina metálica. Sin embargo, al realizar la experiencia (fig. 6.6), Rutherford encontró que la mayoría de partículas  $\alpha$  atravesaban la lámina y experimentaban una ligera desviación pero algunas de ellas eran desviadas en ángulos muy grandes e incluso una fracción de las mismas rebotaba. Este hecho era inexplicable con el modelo de Thomsom.

Las observaciones de Rutherford lo llevaron a formular la hipótesis, hoy plenamente confirmada, de que la materia no se distribuye uniformemente en el interior de los átomos. Por el contrario, la mayor parte de la masa y toda la carga positiva se concentran en una zona central, muy pequeña, a la que llamamos **núcleo**. A la luz de esta hipótesis, se pueden interpretar las observaciones de Rutherford: La mayoría de las partículas  $\alpha$  no se desvían porque no encuentran el núcleo. Las partículas  $\alpha$  que pasan cerca de una concentración de carga tan grande deben desviarse. Aquellas partículas  $\alpha$  que «chocan» frontalmente contra el núcleo deben rebotar en sentido opuesto (fig. 6.7).

El modelo atómico propuesto por Rutherford consiste en una diminuta concentración de masa con carga positiva, el núcleo, rodeada por una distante acumulación de electrones. En 1913, los experimentos confirmaron la hipótesis. El radio del núcleo es de unos  $10^{-14}$  m de radio, mientras el radio del átomo es de unos  $10^{-10}$  m.

Algunos años después, Rutherford propuso el nombre de **protón** para las partículas cargadas del núcleo atómico. La carga eléctrica de los protones es positiva y del mismo valor que la carga negativa del electrón, pero son 1 840 veces más pesados que este. El núcleo así conformado no pudo explicar los pesos atómicos de los diferentes elementos. La carga nuclear era la correcta, pero había más masa en los núcleos que la que tenían los protones. Una década más tarde, **James Chadwick** descubrió el **neutrón**, el cual no tiene carga eléctrica pero tiene una masa ligeramente mayor que la del protón. Esta partícula se encuentra en el núcleo de todos los átomos (menos en el de protio que es el primer isótopo del H), y con esto se logró explicar los valores de los pesos atómicos. El **número atómico** (Z) de un átomo corresponde el número de protones y el **peso atómico** nos indica, de manera aproximada, el número de protones más el de neutrones, es decir que es un valor cercano al número de masa (A).

### Tc Trabajo cooperativo

Junto con un compañero, analicen y respondan.

- ¿Qué tipo de carga tiene un electrón?
- ¿Cómo se llama un electrón, dos neutrones y un protón?
- ¿El isótopo del H (tritio) es radioactivo?



© Santillana

Fig. 6.8. Coloración de la llama producida por sales de sodio.

## ESPECTROS

### ESPECTROS DE EMISIÓN

Cuando se impregna un hilo muy fino de platino con determinadas sales y se lo coloca en la llama de un mechero, esta adquiere unas coloraciones que son características del elemento metálico que forma parte de la sal (fig. 6.8).

En todos los casos observados, la luz procedente de la llama está formada por un conjunto de rayas luminosas cuyo color y disposición son características del elemento químico que compone la sal que se está analizando. Así, por ejemplo, todas las sales de sodio, ya sean cloruros, sulfatos, carbonatos, etc., producen dos líneas amarillas muy intensas (fig. 6.9a). Este tipo de identificación puede ser realizada con un prisma o con una red de difracción, y, de manera más completa, con un espectroscopio. Los elementos gaseosos encerrados en tubos de descarga eléctrica también pueden ser identificados por este procedimiento.

Llamamos **espectro visible de emisión** de un elemento al conjunto de luces características que emite el elemento cuando se excita por medio de calor o por una descarga eléctrica.

El espectro de luz blanca es un **espectro continuo**, pues los límites de las luces de un color y otro no son nítidos, sino forman un continuo. El espectro visible de emisión del átomo de sodio, formado por dos líneas amarillas separadas entre sí, es un **espectro discontinuo**. En la figura 6.9b, se muestra un esquema de la forma en que se puede obtener el espectro de emisión del sodio por medio de la observación de una llama producida al calentar sales de dicho elemento.

### ESPECTROS DE ABSORCIÓN

De igual forma que se analiza la luz o la energía emitida por una sustancia, también puede analizarse la luz o la energía que aquella absorbe. Al iluminar una sustancia con un conjunto de radiaciones, aparecerán en el espectroscopio todas las radiaciones, excepto las absorbidas por la sustancia en cuestión. El espectro resultante se denomina **espectro de absorción**. En el **espectro de absorción** aparecen rayas oscuras en las mismas zonas en que aparecen las rayas luminosas en el espectro de emisión. Esto significa que las sustancias emiten las mismas radiaciones que absorben. En la figura 6.10, se muestra un esquema de como se podría obtener el espectro de absorción de la llama producida al calentar algunas sales de sodio.

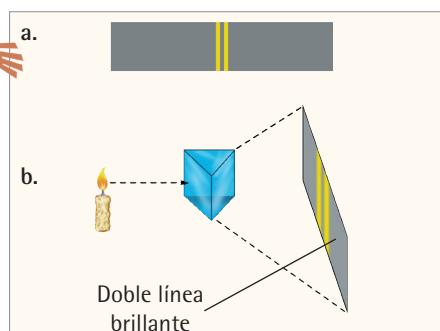


Fig. 6.9. Con la luz de la llama producida por sales de sodio, aparecen dos líneas brillantes de color amarillo.

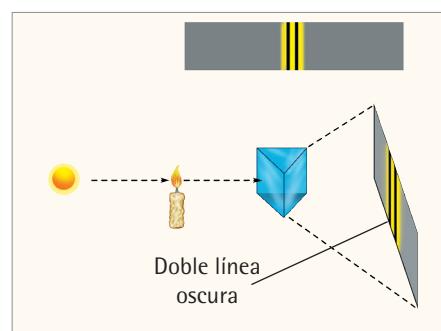
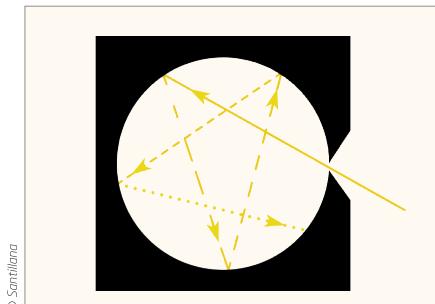


Fig. 6.10. Si se interpone una llama con sales de sodio entre una fuente de luz blanca y el prisma, aparecen dos líneas oscuras.

## LA HIPÓTESIS CUÁNTICA



© Santillana

Fig. 6.11. La luz que entra en la cavidad tiene una probabilidad muy pequeña de escapar antes de ser absorbida por la cavidad.

Cuando se calienta un cuerpo, este irradia energía en forma de radiación electromagnética. Si la temperatura es suficientemente alta, esta se encuentra en el rango de la luz visible. La radiación que proviene de un cuerpo es la superposición de la radiación propia y la reflejada a partir de la radiación que incide sobre él. Si se quiere estudiar únicamente la emisión propia, es necesario aislar el cuerpo de algún modo. Esta dificultad desaparece si el cuerpo absorbe toda la radiación que recibe. Los objetos de color negro poseen en gran medida esta propiedad, sin embargo, no hay uno solo que absorba absolutamente toda la radiación incidente. Un modelo de cuerpo negro ideal consiste de una cavidad de paredes muy absorbentes con una pequeña abertura en una de sus paredes (fig. 6.11). Cualquier radiación que entre en la cavidad, será, casi con toda certeza, absorbida por las paredes antes de que pueda salir de ella. Así, se puede asegurar que la radiación que sale por la abertura tiene su origen en las paredes de la cavidad, es decir, se trata de emisión propia. Por tanto, el agujero tiene las propiedades de un **cuerpo negro** ideal.

El físico alemán **Max Planck** (1858 – 1947) se dedicó a estudiar el caso de un objeto ideal, el cuerpo negro, que irradia energía al ser calentado. La física clásica predecía que, al calentar un objeto, en el espectro producido debería predominar el ultravioleta. Sin embargo, se encontró que cuanto mayor era la temperatura de un cuerpo, más brillantes eran las emanaciones y más predominaba el azul (fig. 6.12).

En 1900, Planck, propuso la siguiente hipótesis, que habría de revolucionar el mundo de la Física.

**Se considera la existencia de partículas o paquetes de energía (cuantos o quantum) cuyo valor depende de la frecuencia. Por lo tanto la teoría cuántica viene a ser «una teoría atómica para la energía». Su valor depende de la frecuencia y es igual a:**

$$E_{\text{cuanto}} = h \cdot f$$

$h$ , es conocida como la **constante de Planck**, cuyo valor es  $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , y  $f$  es la frecuencia.

De acuerdo con la física clásica, un sistema que oscila puede tener cualquier valor para la energía, sin embargo, a la luz del postulado de Planck, si un sistema realiza oscilaciones armónicas su energía total toma valores de acuerdo con la expresión

$$E = n \cdot h \cdot f \text{ siendo } n \text{ un entero positivo.}$$

Se dice que la energía de un sistema que obedece al postulado de Planck está cuantizada; los estados permitidos de energía son estados cuánticos y el número  $n$  se le llama **número cuántico principal**.

La energía solo puede absorberse o emitirse en cuantos, es decir, la energía total emitida, o absorbida, es igual a un número entero de cuantos o paquetes elementales de energía.

La hipótesis de Planck dio origen a lo que llamamos la **física cuántica**. Esta primera versión de la hipótesis cuántica fue redefinida por **Sommerfield** teniendo en cuenta órbitas o trayectorias elípticas para los electrones que giran alrededor del núcleo.

Posteriormente, la mecánica cuántica ha sido modificada considerando el comportamiento ondulatorio del electrón, y aparece la mecánica ondulatoria que es más versátil e involucra los **orbitales** que son regiones de máxima probabilidad para ubicar los electrones del átomo.



### I Investiga

Averigua si los rayos X y las radiaciones producidas por el uranio son lo mismo.

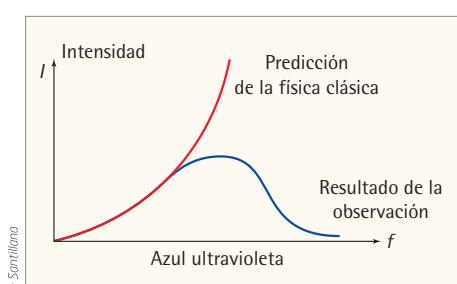


Fig. 6.12. Intensidad de la radiación emitida por un objeto a determinada temperatura para diferentes frecuencias.



## Energía de enlace y energía liberada

### Destreza con criterio de desempeño:

Diferenciar entre energía de enlace y energía liberada, con base en las ecuaciones nucleares respectivas.

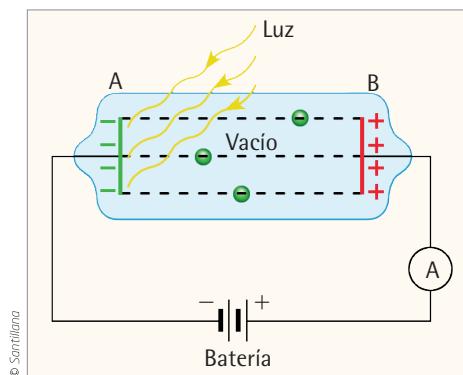


Fig. 6.13. Esquema del montaje para observar el efecto fotoeléctrico.

### EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

A finales del siglo XIX, no se dudaba que la luz era una onda. La interferencia y difracción de la luz así lo habían mostrado y, además, con los trabajos de Maxwell se había ratificado que se trataba de una onda electromagnética. Sin embargo, el descubrimiento de un nuevo fenómeno, el llamado **efecto fotoeléctrico**, puso de manifiesto que dicha teoría presentaba algunas limitaciones.

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un metal cuando sobre él incide un rayo luminoso de determinada frecuencia.

Utilizando un dispositivo, cuyo esquema se muestra en la figura 6.13, la emisión de electrones se puede detectar por el paso de corriente a través del circuito. El efecto fotoeléctrico, además de ser instantáneo, presenta la siguiente característica.

**No todos los rayos luminosos provocan la emisión, sino que, para cada metal, existe una frecuencia mínima, por debajo de la cual no se produce el efecto, aunque el haz sea muy intenso.**

Por ejemplo, en algunos metales, con un haz muy intenso de luz roja no se produce emisión de electrones, mientras que con un haz de luz azul es posible lograrlo.

Si la luz tuviera solamente comportamiento ondulatorio, cualquier tipo de luz debería ser capaz de provocar la emisión de electrones, siempre y cuando tuviera suficiente intensidad.

En contra de lo supuesto, la emisión de electrones depende de la frecuencia de la luz utilizada y no depende de su intensidad. Es decir la luz tiene una naturaleza corpuscular.

### EXPLICACIÓN DEL EFECTO FOTOELÉCTRICO SEGÚN EINSTEIN

En 1905, **Albert Einstein** empleó la hipótesis cuántica de Planck para explicar el efecto fotoeléctrico. Consideró que la luz no se comporta como una onda, sino como un flujo de partículas o corpúsculos, los **fotones o cuantos**

Según Einstein, un haz de luz de determinada frecuencia está formado por un cierto número de fotones en movimiento, de manera que la energía que transporta cada uno de estos fotones no toma cualquier valor sino que se relaciona con la frecuencia mediante la expresión

$$E = h \cdot f$$

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$c$  = velocidad de la luz

$f$  = frecuencia

$\lambda$  = longitud de onda

$h$  = constante de Planck

Por tanto, un haz muy intenso de luz de baja frecuencia está formado por millones de fotones, pero cada uno de ellos transporta muy poca energía. Si suponemos que, para abandonar el metal, el electrón necesita recibir determinada cantidad de energía y que el electrón es emitido por el metal cuando choca contra él un fotón, resulta que, si la energía del fotón es pequeña y la energía necesaria para que el electrón abandone el metal es muy grande, los impactos no producirán ningún efecto, por muchos fotones que lleguen. Sin embargo, si sobre el metal incide un haz de fotones, aunque de baja intensidad, que transportan determinada cantidad de energía, bastará con que uno de estos fotones choque contra un electrón para que éste sea emitido por el metal. Los electrones liberados de esta forma se llaman *fotoelectrones* y constituyen una corriente fotoeléctrica cuando el sistema se incluye como parte de un circuito estable. Una aplicación práctica del efecto fotoeléctrico se encuentra en las células fotoeléctricas (**fig. 6.14**).

© Santillana



Fig. 6.14. Las células fotoeléctricas permiten abrir o cerrar los circuitos cuando les llega luz.

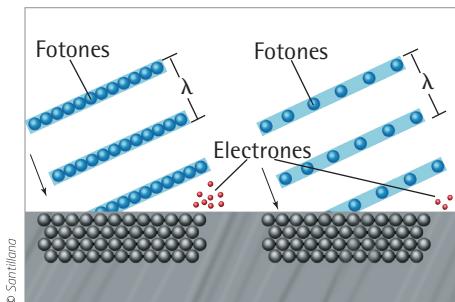


Fig. 6.15. Con ondas de igual frecuencia, los electrones emitidos por la superficie de un metal salen con la misma velocidad. Con una radiación más intensa, el metal emite mayor número de electrones.

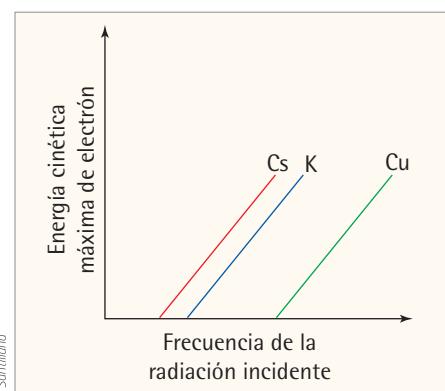


Fig. 6.16. Para cada metal, hay una frecuencia de radiación por debajo de la cual no hay emisión de electrones.

### Tc Trabajo cooperativo

Formen parejas y resuelvan este problema.

La potencia de radiación de una fuente de luz monocromática es 2 W. Si la longitud de onda es de 480 nm, calculen:

- La energía de un fotón de esta luz (sugerencia: usar la ecuación  $f = c/\lambda$ )
- El número de fotones que la fuente emite por segundo.

## LOS FOTONES Y LA INTENSIDAD DE LA LUZ

En la figura 6.15, dos haces de luz con la misma frecuencia inciden sobre un metal. Uno de los haces tiene mayor intensidad que el otro, por tanto, mayor número de fotones. El de mayor intensidad da lugar a emisión de mayor número de electrones. Cuando un fotón incide sobre la superficie de un metal, su energía es  $E = h \cdot f$ , por tanto, la energía cinética máxima con que un electrón es emitido por el metal es  $E_c \text{ máxima} = h \cdot f - W$ , donde  $W$  se llama **función de trabajo** y corresponde a la energía mínima requerida para que un electrón escape del metal. La función de trabajo depende exclusivamente de la composición del metal.

De acuerdo con esta teoría, podemos explicar siguientes los fenómenos observados.

- Para determinado metal, la energía cinética de los electrones emitidos solo depende de la frecuencia de radiación.
- El número de electrones emitidos depende del número de fotones incidentes, es decir, de la intensidad de la radiación.

La teoría del efecto fotoeléctrico hace una predicción nueva acerca de la dependencia de la energía cinética máxima de los electrones emitidos por el metal, ésta varía linealmente con la frecuencia. Esto conduce a una predicción sorprendente desde la perspectiva clásica: existe una **frecuencia umbral**:

$$f_{\text{umbral}} = \frac{W}{h}$$

Por debajo de esta, no existe emisión de electrones por muy intensa que sea la radiación incidente (fig. 6.16). La frecuencia umbral depende del metal. La mayoría de ellos emite electrones con luz azul y son muy raros los que emiten partículas con luz roja.

A partir del efecto fotoeléctrico se aceptó que, si bien la luz se propaga como si fuera una onda, al interactuar con la materia (en los procesos de absorción y emisión) se comporta como un haz de partículas. Este sorprendente comportamiento es lo que se ha llamado la **naturaleza dual de la luz**.

### Ejemplo

Un bombillo incandescente de 50 W emite el 1% de la potencia que se le suministra en forma de luz de frecuencia  $5,45 \cdot 10^{14}$  Hz. Calcula:

- La energía de cada fotón de luz de este color.
- El número de fotones que emite la fuente por segundo.

Solución

- Determinemos la energía de cada fotón mediante la expresión

$$E = h \cdot f$$

Por tanto,

$$E = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 5,45 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} = 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- Puesto que la potencia radiada en forma de luz de la longitud de la frecuencia dada es 0,05 W (0,05 J/s), tenemos que, en cada segundo, el número de fotones es

$$\frac{0,05 \text{ J/s}}{3,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 1,4 \cdot 10^{18} \text{ fotones/s}$$



## EL MODELO ATÓMICO DE BOHR

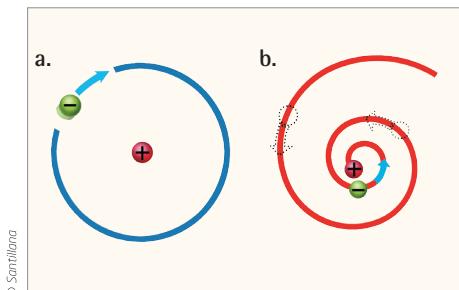


Fig. 6.17. a. El modelo de Rutherford para el átomo de hidrógeno. b. La teoría electromagnética predice una caída del electrón hacia el núcleo al emitir radiación.

En el modelo de Rutherford con el núcleo rodeado de electrones, no es posible que estos estén inmóviles pues, debido a la fuerza electrostática, se moverían hasta llegar hacia el núcleo. Si los electrones están en movimiento alrededor del núcleo, es posible que describan órbitas en forma similar a un sistema planetario (fig. 6.17a).

A partir de los supuestos de la física clásica, toda partícula cargada, como es el caso del electrón que describe una órbita, emite energía en forma de radiación electromagnética. En consecuencia, el electrón perdería energía en forma continua y daría lugar a espectros de emisión continuos, lo que está en contradicción con las observaciones experimentales.

Por otra parte, la pérdida de energía provocaría que los electrones describieran trayectorias en forma de espiral hasta que, finalmente, terminaran precipitándose en el núcleo, lo cual daría lugar a una catástrofe atómica (fig. 6.17b). Por tanto, los átomos no serían estables. A la luz de los principios de la física clásica, el modelo de Rutherford presenta inconvenientes que sugieren la siguiente pregunta: ¿tienen o no validez las leyes de la física clásica a nivel atómico?

## EL MODELO DE BOHR PARA EL ÁTOMO DE HIDRÓGENO

La hipótesis de Planck permitió al físico danés **Niels Bohr** (1885-1962) proponer un nuevo modelo atómico que resolviera el problema de la inestabilidad del modelo atómico propuesto por Rutherford.

En este modelo se mantiene la estructura planetaria. Los electrones girando alrededor del núcleo en órbitas circulares, pero se utilizan los principios cuánticos sobre la emisión de energía, introduciendo una serie de condiciones sobre el comportamiento del electrón.

- Aunque sostiene que el electrón al girar describe órbitas circulares, **no todas las órbitas son estables**, sino solamente un número limitado de ellas. Esto quiere decir que el electrón no puede encontrarse a cualquier distancia del núcleo, solo a determinadas distancias.
- **Cuando el electrón se encuentra en una órbita estable, el átomo no emite ni absorbe energía energética.** El átomo absorbe o cede energía cuando el electrón salta de una órbita estable a otra.

Esto significa que cuando un átomo recibe energía, el electrón se excita y pasa de la órbita estable de menor radio a otra órbita estable de mayor radio. El electrón permanece allí aproximadamente  $10^{-9}$  segundos y luego decae a una órbita estable menor. Puede caer de un salto al estado fundamental, o decaer en varios saltos ocupando otras órbitas estables intermedias. Cuando el electrón pasa de un estado excitado a uno de menor energía, se produce la emisión de un fotón (fig. 6.18a) y para que el electrón pueda pasar a un estado excitado de mayor energía, el átomo absorbe un fotón (fig. 6.18b).

El mínimo de energía de un átomo se llama **estado fundamental**. El **estado excitado** corresponde al estado del átomo cuando algún electrón alcanza un nivel energético superior por absorción de algún tipo de energía.

Bohr supuso que el electrón del átomo de hidrógeno y de otros iones similares a él no cumplen las leyes clásicas del electromagnetismo mientras está en alguna de las órbitas permitidas, pues no emite radiación electromagnética cuando gira.

La mecánica ondulatoria desarrolló un modelo más adecuado del átomo, en el cual se considera que el electrón presenta la dualidad onda-corpúsculo, y el movimiento de un electrón se describe mediante los principios matemáticos que rigen el movimiento de las ondas.

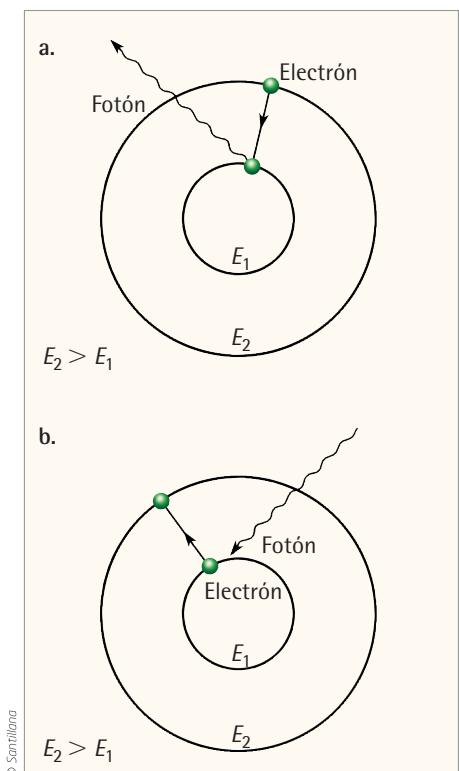


Fig. 6.18. Modelo de Bohr del átomo de hidrógeno. a. Emisión de un fotón. b. Absorción de un fotón.



Fig. 6.19. Espectro atómico del hidrógeno.

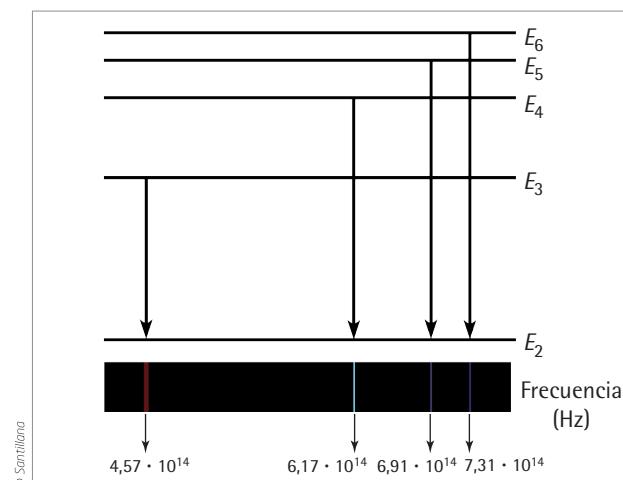


Fig. 6.20. Saltos del electrón del átomo de hidrógeno para los cuales se producen las líneas del espectro visible.



### Investiga

Indaga sobre el espectro del átomo de carbono y encuentra el valor de la energía de las líneas espectrales de dicho elemento.

## INTERPRETACIÓN DE LOS ESPECTROS ATÓMICOS

El espectro visible de emisión del átomo de hidrógeno es un espectro discontinuo formado por cuatro rayas brillantes: una roja de frecuencia  $4,57 \cdot 10^{14}$  Hz, una azul de frecuencia  $6,17 \cdot 10^{14}$  Hz y dos violeta, de frecuencias  $6,91 \cdot 10^{14}$  Hz y  $7,31 \cdot 10^{14}$  Hz, respectivamente.

¿Por qué el hidrógeno cuando es excitado, siempre emite las mismas radiaciones? ¿Cuál es la razón para que el espectro de un elemento sea siempre el mismo y se diferencie de los espectros de los restantes elementos? (fig. 6.19).

Bohr explicó las diferencias observadas entre los distintos espectros atómicos del siguiente modo.

- Cada una de las líneas que se observan en un espectro corresponde a la radiación emitida o absorbida cuando el electrón salta desde una órbita estable hasta otra.
- El valor de la energía de dicha radiación es directamente proporcional a su frecuencia. Así, cuando un electrón salta desde una órbita de mayor energía,  $E_2$ , a otra de energía menor,  $E_1$ , se emite una radiación de frecuencia,  $f$ , y la energía del fotón emitido se expresa como:

$$E_2 - E_1 = h \cdot f$$

donde  $h$  es la constante de Planck.

Aplicando estas ideas y por medio de algunas consideraciones matemáticas, Bohr calculó teóricamente las frecuencias de las líneas que aparecen en el espectro del átomo de hidrógeno (fig. 6.20).

Un determinado elemento químico siempre ofrece el mismo espectro porque todos sus átomos son iguales, de manera que en todos ellos las órbitas estables tienen una forma, un tamaño y una energía característicos.

En consecuencia, la diferencia de energía entre dos órbitas es la misma y, por tanto, la frecuencia de la radiación emitida o absorbida siempre tiene el mismo valor.

El modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno y otros similares permitió determinar el radio del átomo y predecir sus niveles de energía. A la vez, permitió interpretar el espectro de aquel átomo. Cuando se intentó aplicar la teoría de Bohr a otros átomos distintos al de hidrógeno, los resultados teóricos no coincidían con los resultados experimentales.

Aunque el modelo de Bohr toma la hipótesis cuántica para su desarrollo, en algunos aspectos tiene elementos de la física clásica.

El modelo de Bohr no explica por qué solo algunas órbitas son estables y por qué si el electrón se encuentra en una órbita estable no emite radiación electromagnética.



## EL MODELO ATÓMICO ACTUAL

### DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA

Algunos fenómenos de la luz, como la interferencia y la difracción, se explican en términos de la naturaleza ondulatoria de la luz, mientras que otros como el efecto fotoeléctrico, solo son explicables mediante la teoría corpuscular. Por ello, se considera que la luz tiene naturaleza dual, es decir, según la experiencia a la que se someta, la luz presentará un comportamiento ondulatorio (en el que se considera que es una onda con una frecuencia y longitud de onda características) o bien un comportamiento corpuscular (en el que se supone que es un flujo de fotones con energía  $E = h \cdot f$ ).

Ahora bien, si las ondas presentan comportamientos propios de las partículas, podría esperarse que las partículas muestren comportamientos propios de las ondas. En 1924, el físico francés **Louis de Broglie** (1892-1987) enunció este razonamiento en forma de principio.

**Toda partícula en movimiento, con una cantidad de movimiento lineal  $p$ , lleva asociada una onda, de modo que su longitud de onda,  $\lambda$ , se expresa en función de la cantidad de movimiento como**

$$\lambda = \frac{h}{p} \text{ donde } h \text{ es la constante de Planck}$$

$p$ = cantidad de movimiento	
$p = m \cdot v$	$m$ = masa de la partícula
$v$ = velocidad de la partícula	

Según esta ecuación cuando un cuerpo de masa grande se mueve, su cantidad de movimiento es alta y, por tanto, la longitud de onda es tan pequeña que ya no se comporta como una onda. Sin embargo, cuando la masa es pequeña, como sucede con el electrón, la cantidad de movimiento es pequeña y, por tanto, la longitud de onda es comparable a la de una radiación de alta frecuencia, es decir, se puede detectar.

La validez de la hipótesis de De Broglie se vio confirmada en 1927, cuando **Davissón y Germer** observaron que las láminas metálicas difractan un haz de electrones (fig. 6.21) de manera similar a la difracción de los rayos X (fig. 6.22). La longitud de onda que se deduce para dicho haz es exactamente la misma que se obtendría utilizando la hipótesis de De Broglie, lo que confirma su validez.

**Quedaba así establecido que los electrones, al igual que los fotones, tienen un comportamiento dual, manifestándose como partículas u ondas dependiendo del fenómeno.**

Este principio es el fundamento del microscopio electrónico, que permite obtener detalles más finos que los microscopios ópticos porque la longitud de onda asociada a los electrones es menor que la de los fotones que componen la luz visible.

Al aplicar la hipótesis de De Broglie al modelo atómico del átomo de Bohr, se encuentra una explicación a la regla de cuantización de Bohr con respecto a que algunas órbitas son estables. Las órbitas permitidas son aquellas cuya longitud es igual a un número entero de longitudes de onda de De Broglie del electrón (fig. 6.23).

### L Lección

Calcula la longitud de onda de De Broglie para:

- Una pelota de tenis, con una masa de 0,1 kg, que en un saque alcanza una rapidez de 50 m/s
- Un electrón que se mueve a una velocidad de  $7,3 \cdot 10^6$  m/s

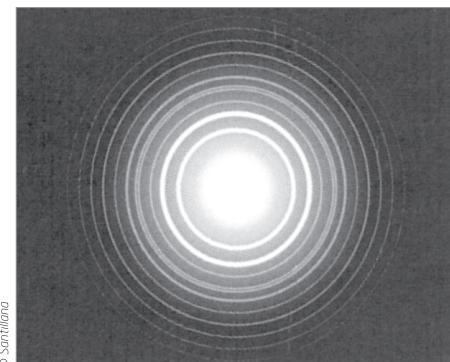


Fig. 6.21. Diagrama de difracción de electrones.

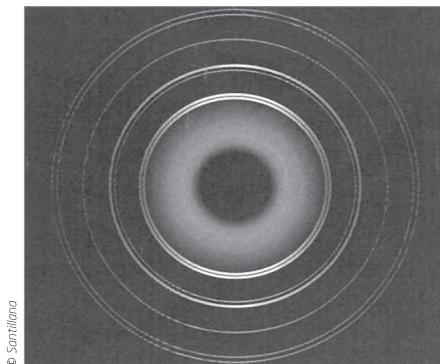


Fig. 6.22. Diagrama de difracción de los rayos X.

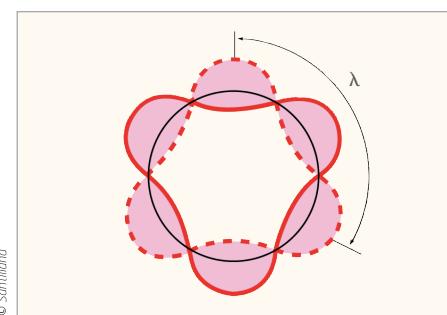


Fig. 6.23. La regla de cuantización de Bohr y la longitud de onda del electrón de De Broglie. En la órbita mostrada hay tres longitudes de onda.

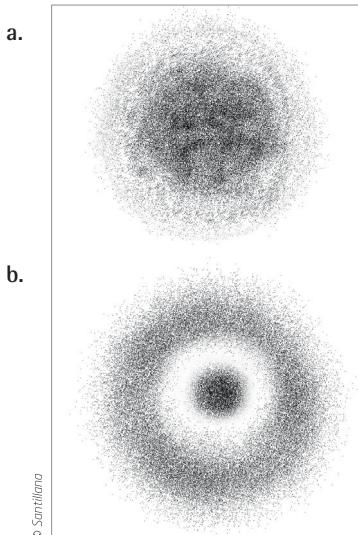


Fig. 6.24. Distribución de probabilidad de la posición de un electrón en algunos estados del átomo de hidrógeno.

© Santillana



© Santillana

### Ti Trabajo individual

Responde: ¿Por qué se introduce el concepto de probabilidad para describir las magnitudes asociadas con el electrón?

## EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

El principio de incertidumbre, enunciado en 1927 por el físico alemán **Werner Heisenberg** (1901-1976), es una de las ideas fundamentales del pensamiento físico actual.

Este principio establece que ciertos pares de magnitudes físicas no pueden determinarse simultáneamente con un grado de exactitud total. Es más, cuanto mayor sea la exactitud en la medida de una de las dos magnitudes del par, menor será la exactitud en la medida de la otra.

El principio de incertidumbre tiene varios enunciados, el siguiente es uno de ellos.

**No se pueden conocer simultáneamente y con precisión absoluta la posición y la cantidad de movimiento de un electrón.**

En relación con la energía de un sistema, se enuncia el principio de incertidumbre de la siguiente manera.

**No es posible determinar simultáneamente y de manera exacta cuándo tiene lugar un proceso y la energía asociada al mismo.**

Es importante aclarar que el principio de incertidumbre no se refiere a la falta de precisión de los instrumentos de medida o a otras dificultades de tipo experimental, sino a un principio básico de la naturaleza, referido a la imposibilidad de obtener información total de un sistema.

## EL MODELO ATÓMICO ACTUAL

El modelo atómico actual se construye a partir de los siguientes supuestos.

- Debido a que todo electrón en movimiento lleva asociada una onda, el comportamiento del electrón se describe mediante una ecuación, llamada **ecuación de onda**.
- Puesto que no es posible conocer siempre toda la información sobre el electrón, se introduce el concepto de **probabilidad** para describir las magnitudes asociadas con el electrón (posición, velocidad, energía).
- La energía de los electrones está cuantizada, es decir, solo puede tener ciertos valores.

La ecuación de onda tiene varias soluciones, cada una de las cuales describe una posible situación en la que puede encontrarse el electrón (en una cierta región del átomo y con cierta energía). Las distintas soluciones de la ecuación de onda se obtienen introduciendo en la ecuación ciertos números, los números cuánticos.

La descripción actual del átomo de hidrógeno, planteada por la física cuántica, difiere cualitativamente del modelo de Bohr. Los niveles de energía son los mismos en los dos casos y ambos coinciden con los datos experimentales, sin embargo, en la teoría cuántica, los niveles no están ligados a órbitas circulares sino a funciones de onda.

Las órbitas de Bohr se convierten en distribuciones de probabilidad para encontrar un electrón en determinada posición. Una manera de visualizar esta distribución es la que se muestra en la figura 6.24. Las zonas más oscuras corresponden a las zonas donde es más probable hallar el electrón; las más claras, donde la probabilidad es menor. En este modelo, se considera al átomo como un núcleo central rodeado por regiones de probabilidad máxima para localizar el electrón (orbitales).



## Actividades

Reconoce las partículas componentes del átomo y sus características.

1. En las emisiones radiactivas  $\alpha$  o  $\beta$  se produce la transmutación de unos elementos en otros, ya que se modifica el número de protones del núcleo. Si un núcleo emite una partícula  $\alpha$ , su número atómico disminuye en dos unidades y su número de masa disminuye en cuatro unidades. Cuando un núcleo emite una partícula  $\beta$ , su número atómico aumenta en una unidad, mientras que su número de masa no varía. Utiliza la tabla periódica para responder estas preguntas:

- Un núcleo de plutonio-239,  $^{239}\text{Pu}$ , emite una partícula  $\alpha$ . ¿En qué elemento se transmuta?
- Un núcleo de carbono-14,  $^{14}\text{C}$  emite una partícula  $\beta$ . ¿En qué elemento se transmuta?

Calcula la longitud de onda de un electrón.

2. Un electrón voltio (eV) es una unidad de energía equivalente a  $1,6 \cdot 10^{-19}$  J. El electrón de un átomo de hidrógeno que se encuentra en un estado excitado tiene una energía de  $-3,4$  eV. Para regresar al estado fundamental, el átomo emite un fotón, y el electrón regresa al estado fundamental cuya energía es  $-13,6$  eV.

- ¿Cuál es la longitud de onda de la radiación emitida?
- ¿Esta radiación pertenece al rango de la luz visible ( $4\,000\text{ \AA}$  a  $7\,000\text{ \AA}$ )?  $\text{\AA} = 10^{-10}\text{ m}$

Identifica las características del modelo atómico de Bohr.

3. En la figura se muestra el dispositivo para obtener el espectro de absorción de determinada cantidad de una sustancia. En la pantalla se observan dos líneas oscuras. A partir del modelo de Bohr, explica el resultado de esta observación.

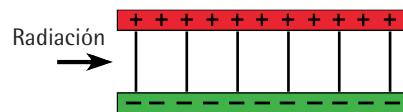


Calcula el defecto de masa y energía de enlace de un átomo.

4. En la figura se muestran dos placas horizontales paralelas; la de arriba tiene carga. Un haz de radiación penetra en la región comprendida entre las placas en dirección paralela a las mismas.

Describe la trayectoria seguida por cada una de las siguientes radiaciones.

- Rayos  $\beta$
- Rayos  $\alpha$
- Rayos  $\gamma$



5. Escoja la opción correcta. El efecto fotoeléctrico consiste en:

- la absorción de electrones por un metal cuando sobre él incide un rayo luminoso.
- emitir electrones por un metal cuando se calienta.
- la emisión de electrones por un metal cuando sobre él incide un rayo luminoso de determinada frecuencia.

## I Investiga

Verifica conceptos relacionados con estructura nuclear.

- El modelo atómico de Rutherford presentaba dificultades pues podría suceder que el electrón perdiera energía en forma continua. Explica por qué se puede hacer esta predicción.
- ¿Por qué crees que no es conveniente que nos practiquemos varias radiografías en períodos cortos de tiempo?

## L Lección

Aplica y propone soluciones de situaciones relacionadas con la física atómica.

- En el modelo de Bohr del átomo de hidrógeno, cuando el electrón salta de una órbita de mayor energía a otra de menor energía emite un fotón. De acuerdo con el modelo, ¿puede este salto producirse en forma gradual? Justifica tu respuesta.
- Explica por qué la visión sobre la estructura del átomo establecida por la física clásica fue modificada radicalmente por la física cuántica.
- Un potente reflector produce luz amarilla y una pequeña linterna produce luz azul. ¿Con cuál de las dos radiaciones es más probable producir efecto fotoeléctrico en un metal?
- ¿Cómo es posible identificar los elementos presentes en una estrella a partir de la luz proveniente de ella?

# Problemas de ampliación

Resuelve problemas sobre física atómica.

1. Imagina a un láser cuya longitud de onda es 400 nm y cuya potencia es de 30 W. Determina:

- La energía que tiene cada fotón del láser.
- El número de fotones que emite el láser cada segundo.

2. La potencia de radiación de una fuente de luz monocromática es 10 W. Si la fuente de luz es de color verde, ¿cuál es la energía asociada a un fotón de esta luz?

3. El electrón de un átomo de hidrógeno se encuentra en un estado excitado y tiene una energía de  $-5,4$  eV. Para regresar a su estado inicial, el átomo emite un fotón, y el electrón regresa al estado de energía de  $-15,4$  eV. ¿Cuál es la longitud de onda de la radiación emitida?

$$\text{eV} = \text{electrón-voltio} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

4. ¿Cuál es la longitud de onda que debe tener una radiación para que pueda romper una mol de enlaces químicos, sabiendo que la energía de dichos enlaces es de 168 kJ/mol? Imagina que para romper cada enlace se necesita de un fotón.

5. Determinar el valor del cuanto de energía  $E$  correspondiente a la longitud de onda.

6. Calcula la longitud de onda de De Broglie para:

- Una pelota de tenis, con una masa de 0,1 kg, que en un saque alcanza una rapidez de 50 m/s.
- Un electrón que se mueve a una velocidad de  $7,3 \cdot 10^6$  m/s.

7. Escoge la expresión que sea verdadera. Justifica tu respuesta.

- Un espectrómetro de emisión corresponde a un conjunto de luces que emite un elemento.
- Por Planck se sabe que las radiaciones electromagnéticas se emiten a través de cuantos.
- Gracias a Planck se sabe que las radiaciones electromagnéticas se emiten en cuantos.

8. Compara la longitud de la onda de una esfera de 1 kg (que se mueve con velocidad constante de 50 km/h) con la de un electrón que se mueve con velocidad de  $10^7$  m/s.

9. La energía necesaria para que un electrón se desprenda de la superficie de una lámina de plata es  $7,52 \cdot 10^{-19}$  J. ¿Podría producirse el efecto fotoeléctrico cuando incide sobre ella una luz de frecuencia  $7 \cdot 10^{14}$  Hz? Explica tu respuesta.

10. Un haz de electrones con una longitud de onda de de Broglie de  $10^{-5}$  m pasa por una ranura de  $10^{-4}$  m de ancho. Calcule la dispersión angular introducida por la difracción producida por la ranura.

Calcula la energía que se produce en el núcleo atómico.

11. ¿Cuánta energía se emite cuando se forma un núcleo de helio a partir de neutrones y protones?

12. ¿Cuál es la energía de un fotón correspondiente a una radiación que posee una longitud de onda de 7 500 Å?

13. Calcule la longitud de onda de de Broglie de un electrón cuando su energía es 1 eV, 100 eV.

14. Se hace incidir luz monocromática con  $\lambda = 450$  nm sobre una superficie de sodio metálico. Si el trabajo de extracción de los electrones del sodio es de 2,3 eV, calcular estos valores.

- La  $\lambda_{\text{máx}}$  que produce el efecto fotoeléctrico en el sodio.
- La energía cinética máxima de los electrones emitidos.
- El momento lineal de los fotones de la luz incidente.

15. Un haz luminoso monocromático de  $4 \cdot 10^{-7}$  m de longitud de onda incide sobre un material cuya energía de extracción es de 2 eV. El haz tiene una intensidad de  $3,0 \cdot 10^{-9}$  W · m<sup>-2</sup>. Si suponemos que por cada fotón que incide sobre el material se produce un electrón, calcular.

- La longitud de onda de los electrones emitidos.
- El número de electrones emitidos por metro cuadrado y segundo.



Aplica y propone soluciones de situaciones relacionadas con la física atómica.

**16. Escoge cuál de las afirmaciones son verdaderas. Justifica tu respuesta.**

- El primer filósofo en exponer el átomo como algo indivisible fue Demócrito.
- En el modelo atómico de Thomson los electrones están localizados en una distribución esférica continua de carga positiva.
- La radiactividad natural fue descubierta por Röntgen.
- El modelo atómico que consiste en una diminuta concentración de masa con carga positiva rodeada de una distante acumulación de electrones fue propuesta por Rutherford.
- El número atómico de un átomo es el número de protones.

**17. Establece semejanzas y diferencias entre:**

- El espectro de emisión y el espectro de absorción.
- El fotón y el cuant de energía.
- La hipótesis cuántica de Planck y la de Einstein.

**18. Copia las frases y complétalas.**

- El efecto fotoeléctrico para una luz roja no produce \_\_\_\_\_ mientras que para una luz \_\_\_\_\_ sí es posible.
- Cuando un átomo recibe energía, el electrón pasa de un estado \_\_\_\_\_ a un estado \_\_\_\_\_.
- Algunos fenómenos de la luz, como \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_, son explicados en términos de la naturaleza ondulatoria de la luz. En cambio otros, como \_\_\_\_\_, solo son explicados mediante la teoría corpuscular.

Calcula el defecto de masa y la energía de los electrones de un átomo.

**19. Dada una superficie fotosensible, ¿un haz de luz brillante extrae más electrones que un haz tenue de la misma frecuencia?**

**20. ¿Un haz de luz de alta frecuencia extrae más electrones que uno de baja frecuencia?**

**21. ¿Qué es la constante de Planck y su relación con la frecuencia y la energía de un cuant de luz?**

**22. ¿A qué se debe que un átomo de helio sea más pequeño que un átomo de hidrógeno?**

**23. ¿Cómo es la energía de un fotón respecto a la diferencia de energía de los niveles del átomo que los emite?**

**24. Una fuente muy intensa de luz roja posee mucha más energía que una fuente débil de luz azul, pero la roja es incapaz de extraer electrones de una superficie fotosensible. ¿Por qué ocurre este hecho?**

**25. Algunos turistas suelen utilizar bronceador para proteger su piel contra las quemaduras del sol. ¿Por qué la radiación infrarroja no produce daños en la piel, mientras que la radiación ultravioleta sí?**

**26. ¿Cómo afectaría a nuestro mundo que la naturaleza cambiara repentinamente, de manera que la constante de Planck se hiciera 1 032 veces más grande de lo que es en la actualidad? Considera la situación desde dos aspectos diferentes.**

- La cuantización de la energía de los osciladores.
- El principio de incertidumbre.

**27. Cuando la luz incide sobre una superficie reflectora en el vacío, esta ejerce cierta presión sobre dicha superficie. ¿Podría ser diferente la presión si la superficie fuera negra, de manera que absorbiera la luz?**

### Investiga

Resuelve problemas relacionados con física atómica.

- Un reactor nuclear produce energía principalmente en forma de calor. ¿Cómo puede producirse calor como resultado de la fisión nuclear? Explícalo.
- Un bombillo incandescente emite luz de color verde ( $\lambda = 5400 \text{ \AA}$ ). ¿Cuál es la energía de cada fotón de luz de este color?
- Se tiene una fuente de luz de 100 W que emite el 1% de la potencia que se le suministra en forma de luz de frecuencia  $5,45 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ . ¿Cuál es el número de fotones que emite la fuente por segundo?

### Actividades

- Una fuente de luz emite ondas electromagnéticas correspondientes al color azul ( $\lambda = 4900 \text{ \AA}$ ). ¿Cuál es el número de fotones que suministran una energía de 10 ergios?
- ¿Cuál es la energía de un fotón de radiación ultravioleta con frecuencia es de  $3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$ ?
- ¿Cuál es la longitud de onda asociada a un electrón que cae a través de una diferencia de potencial de 9 V?

## Destrezas con criterio de desempeño:

- Describir los componentes básicos de la materia, a partir de la identificación de las partículas que constituyen el átomo y de sus valores de carga y masa.
- Diferenciar entre energía de enlace y energía liberada, con base en las ecuaciones nucleares respectivas.

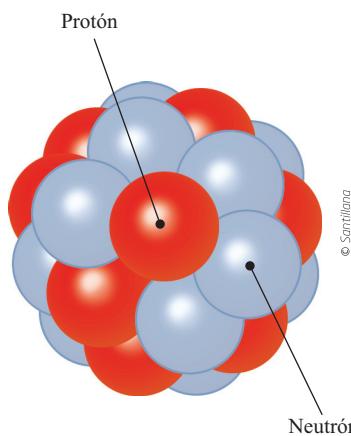


Fig. 6.25. Vista del núcleo en la que se muestran los protones y neutrones.

## EL NÚCLEO ATÓMICO

### Conocimientos previos

Una de las conclusiones más importantes obtenidas por Rutherford en su experimento del bombardeo de la lámina de oro con partículas alfa era que el átomo estaba formado por un núcleo central, de carga positiva y con una masa muy alta en comparación con los electrones que giraban en torno a él. ¿Crees que estos estudios ofrecían información respecto a la estructura del núcleo atómico?

En 1932 se logró determinar que el núcleo estaba formado por dos tipos de partículas: los **protones** y los **neutrones** (fig. 6.25).

- Los **protones** tienen una carga positiva de  $1,602 \cdot 10^{-19}$  C y una masa de  $1,673 \cdot 10^{-27}$  kg, aunque se usa otra unidad de masa llamada *unidad de masa atómica* (uma), simbolizada por *u*, donde  $1 \text{ u} = 1,66606 \cdot 10^{-27}$  kg, por lo cual la masa del protón es 1,0073 u.
- Los **neutrones** no tienen carga y su masa es un poco mayor que la del protón, es decir,  $1,675 \cdot 10^{-27}$  kg, medida en el S.I. y en términos de uma es 1,0087 u.

Recordando la equivalencia entre masa y energía propuesta por Einstein, es posible establecer la cantidad de energía correspondiente a una unidad de masa atómica de la siguiente manera.

$$E = m \cdot c^2$$

$$\left. \begin{array}{l} E_e = (1,66606 \cdot 10^{-27} \text{ kg})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 \\ E_e = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 931,49 \text{ MeV} \end{array} \right\} \text{energía de enlace}$$

Es decir, la energía equivale a  $1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV}$  (megaelectronvoltios).

Al número total de nucleones (nombre común para las partículas subatómicas que están en el núcleo: protones, neutrones, positrones, etc.) se le da el nombre de **número de masa** y se representa mediante la letra *A*.

El número *A* de nucleones es aproximadamente igual a la masa del núcleo del elemento en cuestión. Por ejemplo, el núcleo del oxígeno tiene 8 neutrones y 8 protones y una masa de 15,995 u. Entonces, su número de masa es 16.

En nuestra escala cotidiana de tamaños cuesta imaginar las dimensiones de un átomo, pero, una idea de lo pequeño que es, representa el punto final de esta frase cuyo tamaño equivale a mil millones de átomos.

Los numerosos experimentos realizados por Rutherford permitieron determinar que el núcleo atómico es aproximadamente esférico y que su radio está entre los valores de  $10^{-15}$  m y  $10^{-12}$  m.

El menor radio corresponde al átomo más simple, que es el de hidrógeno, mientras que el mayor corresponde al uranio.

Dado que el valor del radio es tan pequeño, se definió la medida *fermi* ( $1 \text{ fm} = 10^{-15}$  m) en reconocimiento al físico italiano Enrico Fermi, quien hizo importantes aportes al estudio de los procesos nucleares.

Los electrones, protones y neutrones son las partículas fundamentales de mayor importancia para establecer una imagen del átomo adecuada para el nivel de física buscado.

### Recuerda

A la diferencia que existe entre la masa del núcleo y la suma de las masas que tienen los nucleones cuando están separados, se la conoce como *defecto de masa*. Es descrita con la siguiente fórmula.

$$\Delta m = [Z(m_p + m_e) + (A - Z)m_n] - m$$

Se tomará siempre el valor absoluto.

$\Delta m \rightarrow$  defecto de masa

$Z \rightarrow$  número atómico del núcleo

$A \rightarrow$  número másico (uma)

$m_p \rightarrow$  masa del protón

$m_e \rightarrow$  masa del electrón

$m_n \rightarrow$  masa del neutrón

$m \rightarrow$  masa del núcleo

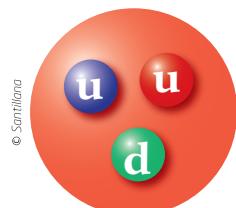


## Glosario

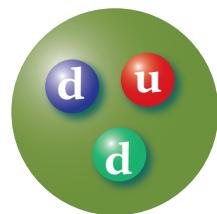
En Física, los **quarks** son componentes fundamentales de la materia y las partículas más pequeñas que se han identificado.

Se combinan para formar otras partículas como protones y neutrones.

**protón.** Dos quarks *up* y uno *down*.



**neutrón.** Dos quarks *down* y uno *up*.



Se considera la existencia de otras partículas subnucleares llamadas **quarks**, propuestas por primera vez por Murray Gell-Mann. Hay seis tipos de quarks: *up* (*u*) (hacia arriba), *down* (*d*) (hacia abajo), *strange* (*s*) (extraño), *charm* (*c*) (encanto), *top* (*t*) (el de arriba) y *bottom* (*b*) (el de abajo). Así, un protón está formado por tres quarks, dos *up* y uno *down*. Un neutrón está formado por un *up* y dos *down*. Los quarks se consideran partículas fundamentales.

## MODELOS NUCLEARES

¿Alguna vez te has preguntado por qué los protones provistos de carga positiva no se repelen entre sí, estando tan cerca y siendo la fuerza gravitacional entre ellos muy débil en comparación con la eléctrica? La respuesta a esta pregunta es que entre las partículas del núcleo existe una fuerza llamada *fuerza nuclear*, cuya función principal es mantener estable el núcleo y que se denomina **interacción fuerte**.

Esta fuerza nuclear tiene acción sobre los hadrones (partículas asociadas a una interacción fuerte: protones, neutrones, etc) y, a distancias no superiores a las dimensiones nucleares, (del orden de  $10^{-15}$  cm), es de tipo atractivo, de tal manera que vence la repulsión electrostática existente entre los protones.

La fuerza nuclear se hace cero a mayores separaciones; por tanto, para los protones en los núcleos pequeños la fuerza nuclear vence fácilmente a la fuerza eléctrica, pero para los protones alejados en un núcleo grande esta fuerza nuclear puede ser pequeña y ocasionar inestabilidad nuclear. Así, un núcleo mayor no es tan estable como un núcleo menor.

Para explicar los fenómenos nucleares se usan ciertos modelos nucleares: el de partícula uniforme, el de partícula independiente, el de partícula alfa y el de la gota líquida.

- **Partícula uniforme.** Este modelo, propuesto por el físico húngaro Eugene Wigner (1902-1995), supone que, por efecto de las enormes interacciones entre los nucleones producidas por las fuerzas nucleares, no puede seguirse en detalle el movimiento de cada nucleón sino que debe tratarse estadísticamente. Este modelo es útil en la explicación de las energías que ligan al núcleo, pero muchos resultados experimentales contradicen las predicciones que genera el modelo.
- **Partícula independiente.** También se conoce como modelo nuclear de capas. La hipótesis de este modelo es que cada nucleón se mueve independientemente de los restantes y se halla sometido a la acción de un campo nuclear medio, originado por todos los otros nucleones.
- **Partícula alfa.** Son núcleos de helio, es decir dos protones y dos neutrones, se basa en el supuesto de que las partículas alfa forman subgrupos dentro del núcleo. Dichas partículas alfa no necesitan tener una existencia permanente sino que pueden realizar intercambios entre sí.
- **Gota líquida.** Propuesto por Bohr en 1937, este modelo supone que el núcleo se comporta de manera análoga a una gota líquida, con una tensión superficial definida que retiene a los nucleones de modo semejante a como una gota retiene sus moléculas de líquido. Así, la desintegración de núcleos por emisión de partículas es análoga a la evaporación de moléculas desde la superficie de un líquido.

# Vida media de un elemento radiactivo

## Destreza con criterio de desempeño:

Identificar las características de la fisión nuclear.

La fisión nuclear ocurre cuando un núcleo pesado se divide en dos o más núcleos pequeños.



## Tarea

Explica qué es la reacción en cadena cuando se produce la fisión nuclear.

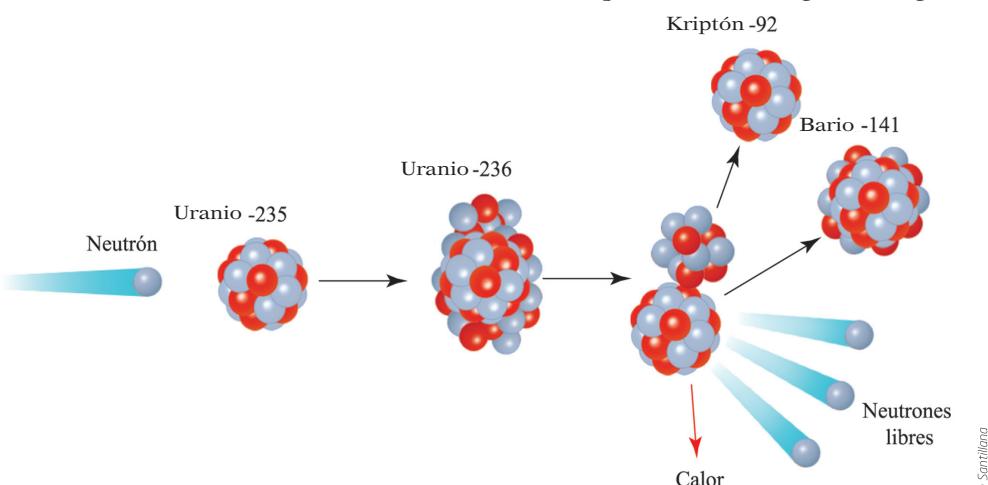
## CARACTERÍSTICAS DE LA FISIÓN NUCLEAR

La fuerza nuclear es responsable de que los nucleones permanezcan en el centro del átomo (núcleo). A distancias medias (hasta de  $10^{-15}$  m) la fuerza es de atracción; si hay una distancia muy grande entre ellos, la fuerza nuclear es cero y, si la distancia es muy pequeña, es una fuerza de repulsión.

La fuerza nuclear del isótopo 235 del uranio (U-235) no es tan intensa, por lo que las fuerzas eléctricas pueden ocasionar un alargamiento de su núcleo, de tal forma que estas fuerzas de repulsión logran vencer las fuerzas nucleares y así dividir el núcleo en dos. Si esto ocurre, se dice que se produjo una **fisión nuclear**.

Es posible definir *fisión nuclear* como el proceso mediante el cual un núcleo pesado y, por tanto, inestable energéticamente, se divide en dos o más fragmentos de menor masa, hasta liberar una gran cantidad de energía.

La explicación teórica de la fisión fue dada por Meitner y Frisch, quienes sostienen que, cuando un núcleo de uranio captura un neutrón, lo retiene durante un intervalo muy breve y luego explota en dos núcleos aproximadamente del mismo tamaño, tal como se representa en la siguiente figura.



Cuando el núcleo de uranio absorbe el neutrón, éste le proporciona la energía suficiente para que el núcleo rebasa el punto crítico de alargamiento, cuya división forma kriptón-92, bario-141 y tres neutrones libres. Estos tres neutrones libres chocan con otros tres átomos de uranio, y liberan de esta manera un total de nueve neutrones, que, a su vez, chocan nuevamente formando una serie de neutrones, que continúan el proceso.

Esta secuencia recibe el nombre de **reacción en cadena**. Cada paso de la reacción requiere más o menos 0,01 s, así que después de 1 s el número total de neutrones es de  $3^{100}$ . Como 235 g de U-235 contienen  $6 \cdot 10^{23}$  átomos, esta reacción en cadena se presenta con cierta violencia explosiva.

Al sumar las masas de los fragmentos de la fisión se observa que es una cantidad menor que la que originalmente tenía el uranio.

Esto indica que se pierde masa, que se transforma en energía, tal como lo indica la ecuación de Einstein:  $E = m \cdot c^2$ . Esta es del orden de 32 pJ (pico julios) o 200 millones de eV (electronvoltios).



La energía se distribuye entre la energía cinética de los fragmentos de la fisión, la energía cinética de los neutrones expulsados y una pequeña parte en la radiación gamma.

Para que se produzca una reacción en cadena, es necesario que el neutrón absorbido recorra dentro del uranio una distancia considerable, de tal manera que alcance a chocar con otros átomos de uranio.

Si la muestra de uranio es muy pequeña, es posible que el neutrón se escape del uranio y no haya más fisiones. Se presenta entonces una relación entre la masa y la geometría del uranio.

Para realizar la explosión atómica de Hiroshima 'Japón' en 1945 (fig. 6.26), se usó U-235 con un volumen comparable a una pelota de softbol (fig. 6.27). La gran y difícil tarea de los científicos que formaron parte del Proyecto Manhattan (que creó la bomba atómica) fue separar esta cantidad de U-235 del uranio natural puro que contiene solo el 0,7% del isótopo 235. El otro isótopo predominante es el U-238, que absorbe electrones, pero amortigua rápidamente la reacción en cadena, indispensable para que exista la fisión nuclear.

## REACTORES NUCLEARES

Un reactor nuclear es un dispositivo en el que se generan reacciones nucleares a gran escala. Pueden servir para suministrar energía útil, producir nuevos isótopos o para investigación. El primer reactor nuclear fue construido en EE. UU. bajo la dirección del físico italiano Enrico Fermi en 1939, un año después del descubrimiento de la fisión. En 1942 se logró obtener la primera liberación autosostenida y controlada de energía nuclear, cuya aceleración de neutrones fue detenida mediante el uso de grafito.

En forma general, un reactor nuclear es un tanque de acero (fig. 6.28) que alberga los siguientes elementos.

- Un núcleo, que contiene el combustible; comúnmente es uranio-238 con 0,7% de U-235.
- Un moderador como barrera para evitar la fuga de material radiactivo.
- Varillas de control para absorber los neutrones excedentes.
- Un reflector para rebotar los neutrones que se dispersan nuevamente hacia el núcleo.
- Refrigerante mantiene la temperatura para llevar la energía desde el núcleo al moderador.
- Una capa de blindaje para proteger a los operarios frente a la intensa radiación generada.

Dentro del núcleo los neutrones inciden sobre el combustible nuclear donde se encuentran los núcleos de U-235. El neutrón y el U-235 forman U-236, que rápidamente se fisiona, y da lugar a nuevos neutrones. Los productos de la fisión, en este caso kriptón-91 y bario-142, se frenan en el combustible generando calor.

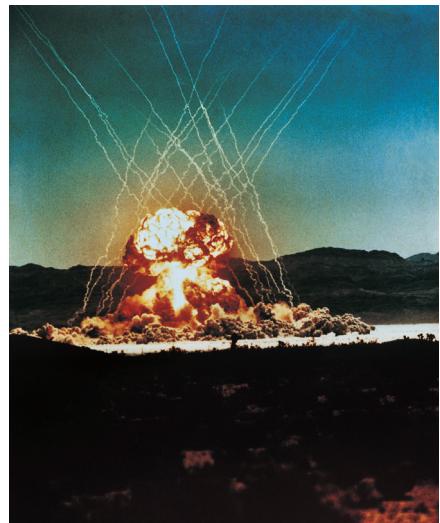


Fig. 6.26. Explosión bomba atómica de Hiroshima en la que se utilizó U-235.



Fig. 6.27. Pelota de softbol.

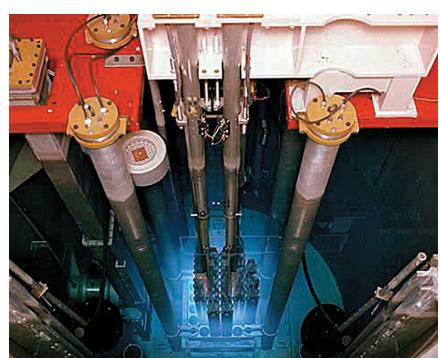


Fig. 6.28. Vista interna de un reactor nuclear.



© Santillana

Fig. 6.29. Reactor nuclear de Colombia ubicado en el IAN-RI en Bogotá.

En Colombia existe, desde 1965 un reactor nuclear que está ubicado en Bogotá, el IAN-RI (fig. 6.29). Es un reactor de baja potencia, por lo que no produce grandes cantidades de energía; su núcleo está compuesto por 14 barras de uranio, genera 30 kilovatios térmicos, es decir, entre 10 mil y 100 mil veces menos que los que alimentan las redes eléctricas.

Se usa para la producción de neutrones, análisis químicos, para calcular la edad de los suelos y para fabricar algunos isótopos útiles en industrias, como la farmacéutica y la ingeniería. Por ejemplo, el yodo-125 ayuda a identificar problemas en la tiroides y el oro-198 se usa para detectar fugas en las represas.

## FUSIÓN NUCLEAR

Otra forma de producir energía nuclear es por medio de la combinación de dos núcleos ligeros en un núcleo más pesado, proceso que se conoce como *fusión nuclear*.

Para producir fisión nuclear se requieren núcleos pesados; contrario a este proceso, para generar fusión nuclear se requieren núcleos livianos.

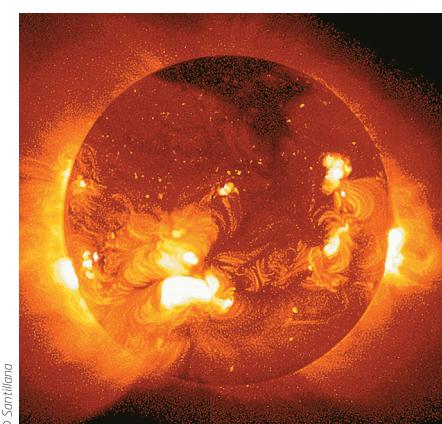
Para realizar la fusión de dos núcleos livianos, es necesario imprimirlles grandes velocidades, de manera que, cuando choquen, logren superar la repulsión eléctrica mutua. Estas velocidades se lograrían a altas temperaturas como las que se presentan en el Sol o en las estrellas (fig. 30). Esta fusión es denominada *termofusión*.

En las reacciones de fisión la cantidad de materia que se convierte en energía es alrededor de 0,1%, mientras que en la fusión es de 0,7%. Esto indica que hay más generación de energía en la fusión, que se manifiesta en su mayoría de veces en la energía cinética de los neutrones. Por tanto, al frenar estos neutrones se obtendría gran cantidad de calor que se puede convertir en electricidad.

Los problemas de posible contaminación que presentan los reactores de fisión, además de las dificultades para deshacerse de los residuos altamente reactivos que producen, han obligado a pensar en una alternativa para el futuro que sea al mismo tiempo poco contaminante y que no presente dificultades en la obtención de combustible.

Esta alternativa está fundamentalmente dirigida hacia la obtención de energía de fusión a partir del hidrógeno, ya que este elemento es muy abundante y, además, el proceso es mucho menos peligroso que la fisión de núcleos pesados.

El primer reactor de fusión nuclear, el Tokamak (1956) se puso en marcha en China. Pero, debido a que ningún material terrestre resiste la elevada temperatura a la que debe someterse, fue necesario desarrollar una «caja inmaterial», la cual es un campo magnético capaz de contener gases calientes y con carga eléctrica (plasma). En este reactor, por cada megavatio utilizado en provocar y mantener la fusión se obtienen solo 0,25 megavatios.



© Santillana

Fig. 6.30. La termofusión nuclear requiere de altas temperaturas como las que se presentan en el Sol.



## La radiación

### Destreza con criterio de desempeño:

Definir la vida media de un núcleo atómico, a partir de la actividad radiactiva que lo caracteriza.

### Recuerda

La vida media representa el promedio de vida de un núcleo atómico de una muestra radiactiva. Es el tiempo, calculado estadísticamente, en que la masa se reduce a la mitad.

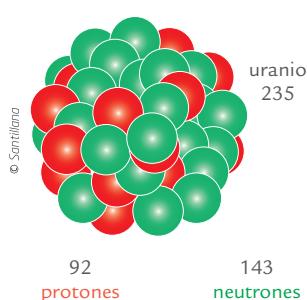


Fig. 6.31. Un hadrón es una partícula subatómica que experimenta una fuerte interacción nuclear. Los neutrones y protones son ejemplos de hadrones.

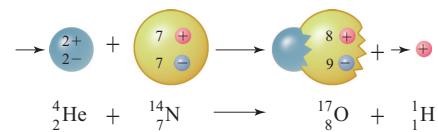
### USO, DETECCIÓN Y DAÑOS

Ya se mencionó que, para ligar el núcleo, existen fuerzas nucleares que actúan sobre los hadrones (fig. 6.31) y que, dependiendo de las distancias entre ellos, suelen ser de atracción fuerte, nula o de repulsión. La fuerza nuclear es mayor entre un neutrón y un protón que entre neutrones y protones. Como los primeros 20 elementos de la tabla periódica tienen, más o menos, el mismo número de neutrones que protones, y sus núcleos son relativamente estables.

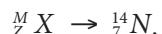
Para los elementos con núcleos más grandes, se observa que el número de neutrones es mayor que el de protones; esta desigualdad aumenta en la medida en que el elemento es más pesado. Por ejemplo, el isótopo de uranio 238 tiene 92 protones y 146 neutrones; si este elemento tuviera menor número de neutrones que de protones, explotaría debido a que las fuerzas eléctricas no alcanzarían a ser contrarrestadas por las fuerzas nucleares. Se requiere que haya más neutrones, de modo que estén más cerca de los protones y la fuerza nuclear sea efectiva.

Estos elementos pesados (núcleos de más de 82 protones) son inestables, ya que ocurren choques dentro de sus núcleos y, si además chocan contra partículas de alta energía, se producen otras partículas que se disparan del átomo, expulsión denominada *radiación*.

Cuando el átomo de un elemento produce radiación, este cambia y se produce otro elemento, proceso que se conoce con el nombre de *transmutación de los elementos*, y puede ser natural o artificial. Por ejemplo, en la siguiente figura se ilustra el bombardeo del núcleo de nitrógeno con partículas alfa, que son núcleos de los átomos de helio.



Se puede observar que el nitrógeno se transmuta en oxígeno y produce un átomo de H. Cada elemento lleva consigo una descripción de su masa y su carga, así en el nitrógeno la masa es de 14 u y 7 e de carga, y se expresa como:



### USOS DE LA RADIACIÓN

Vivimos inmersos en un mundo de radiaciones naturales ionizantes y penetrantes procedentes de las rocas, suelos, aguas, atmósfera y espacio exterior, como resultado de la desintegración de núcleos atómicos inestables.

Además, el hombre ha logrado sintetizar, a voluntad, especies nucleares inestables bombardeando núcleos estables con partículas de alta energía. Estos nuevos nucleidos, a su vez, se convierten en fuente de radiación de una intensidad y variedad sin precedentes en la naturaleza. El uso de todas estas radiaciones depende de dos aspectos de penetración de las radiaciones de alta energía en la materia: los efectos de la interacción en las propias radiaciones y los efectos sobre la materia.

### Investiga

Averigua qué son los nucleidos.





Fig. 6.32. Aplicación de la radiación en el campo de la Medicina, para lograr imágenes de los huesos.

La radiación se utiliza en el campo de la medicina y en investigación. Por ejemplo, los fotones de rayos X tienen alta energía y pueden atravesar muchas capas del átomo antes de ser absorbidos o dispersados. Los rayos X pasan a través de los tejidos blandos del cuerpo humano o de un animal y producen imágenes de los huesos en el interior del organismo (fig. 6.32).

Así mismo, la radiografía industrial se basa en el gran poder de penetración de los rayos gamma. Estos rayos tienen mayor poder de penetración que los rayos X, por eso, los aventajan en el examen no destructivo de la estructura interna de piezas, mecanismos y soldaduras. Con este tipo de radiografía, se pueden descubrir desajustes, imperfecciones o huecos en las piezas de los mecanismos. Por esta razón, cada día son más usados en el control de calidad de las realizaciones industriales.

Una de las aplicaciones más interesantes de la radioactividad es la utilización de los radioisótopos como trazadores. Esta técnica consiste básicamente en seguir la trayectoria que describe un isótopo radiactivo en el interior de un sistema; es muy empleada en áreas tan diversas como la Medicina, la agricultura y la industria.

En la industria, por ejemplo, se emplean radioisótopos para determinar la velocidad de un fluido, las eventuales fugas o el desgaste de tuberías.

En Medicina la técnica de radioisótopos se emplea en el diagnóstico de enfermedades cardíacas, pulmonares, renales y cerebrales, entre otras. Para ello se inyectan pequeñas dosis de tecnecio-99 metaestable; a personas que tienen problemas de la glándula tiroides se suele administrar yodo-131 para detectar la causa de su disfunción, y se emplea el cromo-51 para la localización de hemorragias internas.

### Ti Trabajo individual

Explica cómo se producen las imágenes de los huesos con los rayos X.

### I Investiga

Indaga y menciona dos ejemplos de cómo puede ser aprovechada la energía atómica en beneficio de la humanidad.

## MÉTODOS DE DETECCIÓN DE LA RADIACIÓN

Debido a que las radiaciones de alta energía pueden ocasionar la muerte de células, se usa la radiación para tratamientos de cáncer. Esta radiación, dirigida con sumo cuidado, destruye únicamente las células cancerosas.

Para detectar radiaciones se usan diferentes aparatos, entre los que figuran el contador Geiger, la cámara de niebla, el contador de chispa y las emulsiones fotográficas.

- **El contador Geiger** es un dispositivo que se usa para detectar radiaciones ionizantes y dar un recuento de las partículas y fotones. Consiste en un tubo lleno de gas con un cátodo cilíndrico de metal y un ánodo axial de alambre. Se aplica entre ellos una diferencia de potencial (400 V - 2 000 V). Cuando una partícula alfa, beta o un fotón de radiación gamma choca con las moléculas del gas, produce iones (átomos que ganaron o perdieron electrones, que se mueven hacia los electrodos. Los electrones acelerados hacia el ánodo ionizan otras moléculas del gas, y ocasionan una avalancha de electrones que producen un impulso medible en el ánodo. El impulso de corriente se utiliza para operar un equipo de recuento y, así, identificar miles de partículas por segundo (fig. 6.33).



© Santillana

Fig. 6.33. Contador Geiger.

- **La cámara de niebla** se emplea para hacer visibles las trayectorias de una radiación ionizante, especialmente de las partículas alfa y beta. Consiste en una cámara cilíndrica de vidrio con una tapa en su extremo superior y el otro extremo provisto de un pistón. Dentro de la cámara, hay una muestra de radiación y aire húmedo. Cuando la radiación la atraviesa se producen iones a lo largo de la trayectoria, que es enfriada mediante una súbita expansión adiabática (pistón), lo que hace que el aire quede sobresaturado con vapor de agua. La mayoría de las gotas se condensan sobre estos iones y forman trazas de vapor que indican las trayectorias de la radiación.
- **El contador de chispa** se emplea para contar partículas alfa. Consiste en un alambre, o malla, ubicado a una corta distancia encima de una placa conectada a tierra. El alambre tiene un potencial menor que el necesario para causar una chispa. Al pasar una partícula alfa cerca del alambre, el campo eléctrico aumenta y salta una chispa entre los dos electrodos.
- **Las emulsiones fotográficas** abarcan el método con el que Becquerel descubrió la radiactividad. Cuando una partícula ionizante penetra en la emulsión, deja una traza formada por granos de bromuro de plata sensibilizados. En la actualidad se fabrican emulsiones especialmente destinadas para este fin, denominadas *emulsiones nucleares*.



© Santillana

### Investiga

Averigua qué daños se produjeron en Japón luego del accidente nuclear de Fukushima.

## LA RADIACTIVIDAD Y LOS DAÑOS EN LOS SERES VIVOS

La radiactividad es más antigua que el ser humano. Los habitantes terrestres estamos expuestos diariamente a radiaciones naturales producidas por el suelo que pisamos, los ladrillos de las edificaciones donde vivimos, los vuelos aéreos, e incluso nosotros somos fuente de radiaciones, debido a los alimentos que consumimos, que liberan potasio (K).

En nuestro organismo, existen alrededor de 200 g de K, de los cuales 200 mg son de K 40, un isótopo radiactivo. Durante algo más de un segundo, se desintegran radiactiva y espontáneamente unos 5 000 átomos de K-40. Nuestro organismo también contiene carbono 14 y, debido a sus radiaciones, produce 3 000 partículas beta cada segundo.

Las personas que viven en ciudades altas como Quito están más expuestas a la radiación cósmica, alrededor del triple de las que están al nivel del mar.

Las células de los seres vivos están formadas por estructuras ancladas en el seno de una sustancia líquida rica en iones. Cuando una radiación entra en contacto con ella, provoca caos a nivel atómico y genera una cadena de destrucciones o transformaciones que resultan dañinas para el proceso vital. Las células pueden recuperarse del daño o reponerse si mueren, excepto las células nerviosas, que son irreemplazables. Las transformaciones pueden a largo plazo desencadenar un cáncer. Las radiaciones que inciden en un feto o en un niño son más dañinas que en el adulto, debido a la rapidez de cambios celulares que suceden en sus organismos.

Para cuantificar el efecto biológico de una dosis absorbida de radiación se define una unidad llamada *siever* (Sv). Normalmente, cada persona está expuesta a 20 Sv por año.

### Recuerda

El sievert (símbolo Sv) es una unidad derivada del SI que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. 1 Sv es equivalente a un julio entre kilogramo ( $J \cdot kg^{-1}$ ).

## Problemas de ampliación

Analiza textos que se relacionan con Física cuántica.

1. Responde: ¿Cuál es la longitud de onda asociada a una persona de 60 kg que corre con una velocidad de 5 m/s?
2. Responde: ¿Cuál es la menor incertidumbre que se puede obtener en la posición de un electrón con una incertidumbre de  $9,1 \cdot 10^{-23}$  kg m/s?
3. Se tiene una fuente de luz de 100 W que emite en forma de luz de frecuencia  $5,45 \cdot 10^{14}$  Hz el 1% de la potencia que se le suministra. ¿Cuál es el número de fotones que emite la fuente por segundo?

Analiza y resuelve problemas de Física cuántica.

4. Determina la energía del fotón para las ondas de radio con frecuencia de 1 500 kHz.
5. Una estación de radio tiene una frecuencia de 1 200 kHz. Halla la energía de fotones.
6. Halla el número de fotones emitidos por segundo si la potencia de la emisora es 6 kW.
7. Un foco de 100 W emite el 1% de su potencia suministrándola en forma de luz de frecuencia  $6 \cdot 10^{14}$  Hz. Encuentra estos valores.
  - a. La energía de cada fotón.
  - b. El número de fotones que emite la fuente por segundo.
8. Una radiación de luz ultravioleta de  $3\ 500$  (Å =  $1 \cdot 10^{-10}$  m) de longitud de onda incide sobre una superficie de potasio. Si el trabajo de extracción de un electrón de potasio es de 2 eV, calcula:
  - a. La energía por fotón de la radiación incidente.
  - b. La energía máxima de los electrones extraídos.
9. La actividad del carbono encontrada en especímenes vivientes es de  $0,007$   $\mu\text{Ci} / \text{kg}$ , debido al  $^{14}\text{C}$  presente. El carbón vegetal de una hoguera hallada en un viejo campamento indio tiene una actividad de  $0,0048$   $\mu\text{Ci} / \text{kg}$ . La vida media del  $^{14}\text{C}$  es de 5760 años. Calcule cuánto tiempo hace que se utilizó por última vez el campamento.

10. Un foco de 50 W emite el 1% de su potencia suministrándola en forma de luz de frecuencia  $7 \cdot 10^{14}$  Hz. Calcula:

- a. La energía de cada fotón.
- b. El número de fotones que emite la fuente por segundo.

11. La energía mínima necesaria para arrancar un electrón de una lámina de plata es de  $7,52 \cdot 10^{-19}$  J. Determina:

- a. ¿Cuál es la frecuencia umbral y su longitud de onda correspondiente?
- b. Si se incide con una luz de longitud de onda de 1 000 Å, ¿qué energía cinética, en eV, tendrán los electrones extraídos?
- c. ¿Qué velocidad tendrán estos electrones?

12. El trabajo de extracción de la superficie de un determinado material es de  $E_0 = 2,07$  eV. Calcula.

- a. ¿En qué rango de longitudes de onda del espectro visible puede utilizarse este material de células fotoeléctricas? Las longitudes de onda de la luz visible están comprendidas entre 380 nm y 775 nm.
- b. La velocidad de extracción de los electrones emitidos para una longitud de onda de 400 nm.

13. La vida media del  $^{90}\text{Sr}$  es de 28 años. Calcule:

- a. su constante de desintegración,
- b. la actividad de 1 mg de  $^{90}\text{Sr}$  en curies y en núcleos por segundo,
- c. el tiempo para que 1 mg se reduzca a 250 mg.

Verifica conceptos relacionados con estructura nuclear.

14. Compara en un cuadro los rayos alfa, beta y gamma.
15. Menciona las características que tiene un elemento considerado radiactivo.
16. Responde: ¿Qué tipo de radiaciones se emplean en la medicina?



Determina el valor de verdad de proposiciones.

**16. Escoge las proposiciones verdaderas. Justifica tu respuesta.**

La radiactividad natural fue descubierta por Rontgen.

En 1932, se creía que el núcleo, estaba formado por dos tipos de partículas, los protones y los neutrones.

El modelo nuclear de partícula uniforme fue planteado por Rutherford.

La fisión nuclear es un proceso en el cual se logra dividir un núcleo en dos al vencer las fuerzas nucleares.

Un reactor nuclear es un dispositivo que se utiliza para desprender electrones de un átomo.

La fusión nuclear consiste en unir dos núcleos livianos para convertirlos en otro más pesado.

Analiza y resuelve problemas de estructura nuclear.

**17. El 26 de abril de 1986 tuvo lugar una catástrofe sin precedentes en la historia de la industrialización en la central nuclear de Chernóbil, en Ucrania. Un grave accidente provocó la liberación de toneladas de material altamente radiactivo a la atmósfera. ¿Cómo podrías explicar que, después de más de 20 años del desastre, todavía existe la radiación liberada esa noche?**



© Santillana

**18. Si sabes que el oxígeno-16 tiene 8 protones en su núcleo y su masa atómica es 15,9949 u, calcula:**

- Su defecto de masa.
- La energía de enlace en julios.
- La energía de enlace por un nucleón, también en julios.

**19. Para diferenciar los diferentes isótopos de un elemento químico, se suele utilizar una nomenclatura que sitúa a la izquierda del símbolo del elemento un subíndice, que indica el número atómico del elemento, y un superíndice, que indica su número másico. Por ejemplo, en la expresión  $^{35}_{17}\text{Cl}$ , el nombre del isótopo es cloro-35, su número atómico es 17 y su número másico 35. De acuerdo con esta información, indica el nombre del isótopo, el número atómico y el número másico de los siguientes elementos.**

a. $^{11}_{23}\text{Na}$	c. $^{30}_{15}\text{P}$	e. $^9_4\text{B}$	g. $^{12}_6\text{C}$
b. $^{40}_{20}\text{Ca}$	d. $^{31}_{17}\text{Z}$	f. $^{31}_{16}\text{X}$	h. $^{217}_{85}\text{At}$

**L Lección**

**1.** Una muestra contiene inicialmente 1020 átomos, de los cuales un 20% corresponden a material radiactivo con un período de semidesintegración de 13 años. Calcula:

- La constante de desintegración del material radiactivo.
- El número de átomos radiactivos iniciales y la actividad inicial de la muestra.
- El número de átomos radiactivos al cabo de 50 años.
- La actividad de la muestra al cabo de 50 años.

**2.** Considera la siguiente reacción nuclear.



- Determina la energía liberada por el átomo de uranio.
- Responde: ¿Qué cantidad de  $^{235}_{92}\text{U}$  se necesita para producir 106 kW·h?

## Actividades

Analiza y resuelve problemas de Física cuántica.

1. Calcula la longitud de onda, en angstroms, asociada a un electrón cuya velocidad es de  $0,05 c$ .
  - a.  $0,49 \text{ \AA}$
  - b.  $0,2 \text{ \AA}$
  - c.  $0,56 \text{ \AA}$
  - d.  $0,998 \text{ \AA}$
2. A temperatura ambiente, las moléculas de hidrógeno gaseoso tienen una energía cinética media de  $6 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ . Una forma de entregar energía a una molécula o átomo es mediante choques, como ocurre cuando hay un aumento de temperatura, la energía cinética de las partículas también aumenta, y así el número de choques entre ellas son mayores. Se sabe que para que un electrón sea arrancado del átomo de hidrógeno se necesita una energía de  $2,7 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ .
  - a. Explica por qué el gas no emite electrones a temperatura ambiente.
  - b. ¿A qué corresponde el valor de  $2,7 \cdot 10^{-18} \text{ J}$  en el modelo de Bohr?

Analiza y propone soluciones de situaciones relacionadas con la Física cuántica.

3. Determina el número de neutrones que tienen los núcleos de los siguientes átomos.
  - a. sodio  $^{23}_{11}\text{Na}$
  - b. galio  $^{71}_{31}\text{Ga}$
  - c. actinio  $^{227}_{89}\text{Ac}$
4. Calcula el radio aproximado de los siguientes núcleos.
  - a. Circonio-90  $(^{90}_{40}\text{Zr})$
  - b. Talio-203  $(^{203}_{81}\text{Tl})$

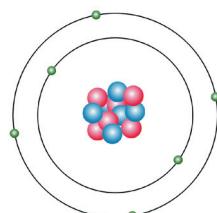
5. Para la fotofisión del  $^{235}\text{U}$  en  $^{90}\text{Kr}$ ,  $^{142}\text{Ba}$  y tres neutrones, calcule, a partir de las diferencias de masa, la energía total liberada. Compare esta energía con la de la repulsión de Coulomb inicial de los dos fragmentos cargados, suponiendo que apenas se tocan cuando se presenta la fisión.
6. Calcule la energía requerida para dividir un núcleo de  $^{4}\text{He}$  en (a) un  $^{3}\text{H}$  y un  $\text{p}$  y (b) un  $^{3}\text{He}$  y un  $\text{n}$ . Explique la diferencia entre las energías en términos de las propiedades de las fuerzas nucleares.
7. a. Verifique que la energía liberada en la fisión del uranio (185 MeV por átomo) es equivalente a  $8.3 \times 10^{13} \text{ J / kg}$ .  
b. ¿Con qué rapidez se debe fisionar el uranio para que se genere una potencia de 1 MW?  
c. ¿Cuánto tiempo se tarda en usar 1 kg de uranio, dado que genera continuamente una potencia de 1 MW?
8. Cierto acelerador puede impartir una energía de 2 MeV a partículas con una carga y de 4 MeV si las partículas tienen dos cargas. ¿Qué reacciones se pueden observar cuando el  $^{12}\text{C}$  es bombardeado por protones, deuterones y partículas provenientes de este acelerador?
9. Calcula la longitud de onda de De Broglie para:
  - a. Una pelota de tenis, con una masa de 0,2 kilogramos que en un saque alcanza una rapidez de 75 m/s.
  - b. Un electrón que se mueve a una velocidad de  $6,7 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ .

# Evaluación

- Analiza conceptos relacionados con Física cuántica.

0,5 puntos

1. ¿Cómo se explica que los nucleones permanezcan juntos en el núcleo si se repelen eléctricamente?



- Selecciona el enunciado correcto.

1 punto

2. Escoge las afirmaciones que sean verdaderas. Justifica tu respuesta.

- Un espectrómetro de emisión corresponde a un conjunto de luces que emite un elemento.
- Por Planck se sabe que las radiaciones electromagnéticas se emiten a través de cuantos.

- Analiza conceptos de Física cuántica.

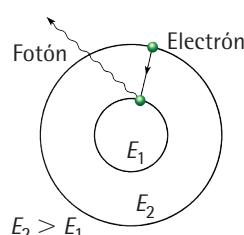
0,5 puntos

3. ¿Qué significan las líneas en un espectro según Bohr?



0,5 puntos

4. Explica cómo es posible que el único electrón del átomo de hidrógeno produzca luz de tantas frecuencias diferentes.



0,5 puntos

5. Explica por qué el principio de incertidumbre aclara el concepto del orbital.

## Coevaluación

Responde la pregunta. Luego, intercambia tu trabajo con un compañero y verifiquen las respuestas que obtuvieron.

¿En qué se diferencia la descripción del átomo de hidrógeno con la del modelo de Bohr?

- Indicador esencial de evaluación

1 punto

6. Determinar el número de protones, neutrones y electrones para el isótopo de francio  $^{223}_{87}\text{Fr}$

0,5 puntos

7. ¿Cómo se explica que la masa del núcleo sea menor que la suma de las masas de los nucleones que lo conforman?

- Deduce expresiones que se relacionan con situaciones de la Física cuántica

1 punto

8. Un kaón neutro con energía cinética de 100 MeV se desintegra en dos piones con cargas opuestas. La energía cinética de uno de los piones es de 200 MeV. Calcule la cantidad de movimiento de cada píon y el ángulo que forma su trayectoria en el sistema L.

1 punto

10. ¿Cuándo un elemento se considera radiactivo?

0,5 puntos

11. ¿Qué significa que un radioisótopo de cesio-137 tenga una vida media de 30 años?

- Propone ejemplos que justifiquen principios científicos.

1 punto

12. Elabora un ejemplo con el que expliques el principio de incertidumbre.

- Analiza y resuelve problemas de física cuántica.

1 punto

13. La masa del protón es 1,007276 u y la del neutrón es 1,008665 u. Calcula el defecto de masa para los siguientes elementos.

a. níquel  $^{58}_{28}\text{Ni}$  de masa 57,935348 u

b. radio  $^{226}_{88}\text{Ra}$  de masa 226,025403 u

1 punto

14. La probabilidad de aniquilación por unidad de tiempo de los positrones es  $\lambda = 7.49 \times 10^{-15} \text{ n/s}$ , donde n es el número de electrones por unidad de volumen. Demuestre que la vida media de los positrones que se mueven en argón (Z= 18) es  $T = 2.67 \times 10^{-7}/p$ , donde p es la presión del argón, medida en atmósferas.

## Autoevaluación (Metacognición)

Con un ejemplo, indica la diferencia entre *energía de enlace* y *energía liberada*.

# Evaluación del segundo quimestre

- Resuelve problemas relacionados con fuerza.

1 punto

- A un móvil de 1 500 kg que va por una carretera recta se le aplica una fuerza constante de 3 000 N durante 10 s, en la misma dirección del movimiento, luego de lo cual adquiere una velocidad de 180 km/h. Determina:
  - La aceleración del móvil.
  - Qué velocidad tenía el móvil antes de ser aplicada la fuerza.
  - El espacio recorrido en 10 s

- Resuelve problemas relacionados con fuerza.

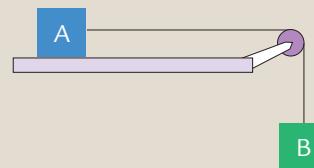
1 punto

- Un cuerpo de 10 kg está en reposo en el origen de coordenadas. Si en  $t = 0$  s se le aplica una fuerza  $\vec{F} = (25\hat{i} - 46\hat{j})$  N, calcula:
  - La posición del cuerpo en  $t = 10$  s
  - La velocidad del cuerpo en  $t = 15$  s

- Resuelve problemas relacionados con fuerza.

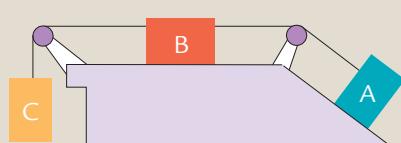
1 punto

- El sistema de la figura está en reposo cuando  $m_A = 12$  y  $m_B = 3$ . Determina:
  - El valor de la tensión de la cuerda.
  - La fuerza de rozamiento que actúa sobre el bloque A.
  - El máximo valor de la masa del bloque B para que el sistema permanezca aún en equilibrio, si el coeficiente estático de rozamiento entre el bloque A y la superficie horizontal es 0,4.



1 punto

- Tres cuerpos, A, B y C, de 40, 20 y 60 kg, respectivamente, están unidos mediante dos cuerdas, como indica la figura. Si todas las superficies son lisas, determina:
  - La aceleración del cuerpo C.
  - El sentido en que se mueve cada uno de los cuerpos.
  - Las tensiones en las cuerdas.



- Determina la energía cinética de un cuerpo en movimiento.

1 punto

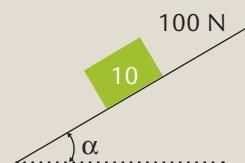
- Un cuerpo de 2 kg cae desde una altura de 10 m. Encuentra la energía cinética del cuerpo al llegar al suelo.
- Un cuerpo cuya masa es de 20 kg es lanzado verticalmente hacia arriba con una velocidad de 50 m/s. Calcula:
  - Sus energías cinética, potencial y total iniciales.
  - Sus energías cinética, potencial y total a los 3 s de estar subiendo.
  - Sus energías cinética y potencial cuando está a 100 m de altura.

1 punto

- En una mesa horizontal, un resorte es comprimido 3 cm mediante una fuerza de 1 200 N. Responde las siguientes preguntas.
  - ¿Cuál es la constante elástica del resorte?
  - ¿Qué energía potencial adquirió el resorte?

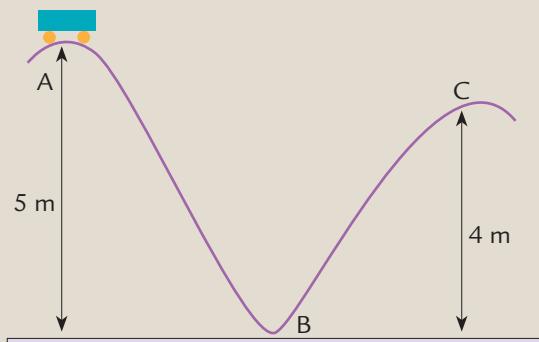
1 punto

- Un cuerpo de 10 kg se desplaza hacia arriba por una rampa de 10 m bajo la acción de una fuerza de módulo 100 N. La tangente de  $\alpha$  es 0,15. Si el coeficiente de rozamiento es 0,4, calcula el trabajo neto realizado sobre el cuerpo, si:
  - La fuerza aplicada es paralela a la rampa.
  - La fuerza forma un ángulo de 30° con la rampa.



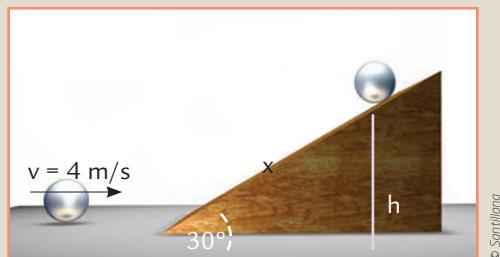
1 punto

- En una montaña rusa, un carro de 300 kg es soltado del reposo desde el punto A, que está a 5 m de altura. Suponiendo que el roce es despreciable, indica cuál es la velocidad en el punto C.



1 punto

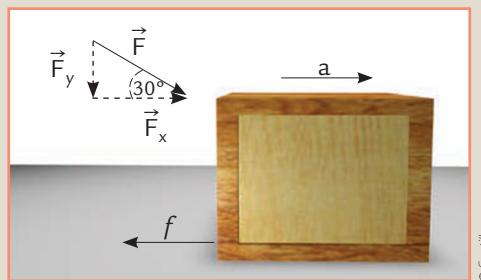
10. Una esfera de 1 kg rueda sobre una superficie horizontal a una velocidad de 4 m/s y llega a un plano inclinado que forma un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal. Calcula:



- La energía cinética de la esfera antes de subir por el plano.
- La altura a la que sube la esfera por el plano, sin rozamiento.
- La distancia que recorrerá sobre el plano inclinado. Si se desprecia el roce entre la esfera y el plano.

2 punto

11. Sobre un bloque de 4 kg situado sobre una superficie horizontal se aplica una fuerza de 15 N, formando un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal. Al cabo de 4 s la velocidad del bloque es de 10 m/s. Encuentra el coeficiente de roce.



- Identifica características de los componentes básicos de la materia.

1 punto

12. Explica la hipótesis de Planck y responde la pregunta.

Una de las frecuencias utilizadas en la telefonía móvil es 900 MHz. Las frecuencias de la luz visible varían entre  $4,3 \cdot 10^8$  MHz (rojo) y  $7,5 \cdot 10^8$  MHz (violeta). ¿Cuántos fotones de luz roja y cuántos fotones correspondientes a la telefonía móvil se necesitan para obtener la misma energía que transmite un solo fotón de luz violeta?

1 punto

13. El polonio 209 ( $^{209}_{84}\text{Po}$ ) tiene una vida media de 102 años. ¿Cuánto tiempo le tomará a una muestra nueva disminuir su actividad a un tercio de su valor inicial?

- Analiza definiciones relacionadas con física atómica y nuclear.

1 punto

14. La fuerza nuclear es la responsable de que los nucleones permanezcan juntos. Elige la mejor definición de fusión nuclear.

- El proceso mediante el cual un núcleo pesado inestable se divide en dos núcleos de menor masa.
- El proceso mediante el cual un núcleo ligero inestable se divide en dos núcleos de mayor masa.
- El proceso mediante el cual dos núcleos ligeros se juntan en un núcleo de mayor masa.

- Identifica características de la radiactividad.

1 punto

15. La radiactividad natural se encuentra presente de manera constante a nuestro alrededor. Escribe cuáles son los elementos radiactivos que afectan al medio ambiente.

1 punto

16. Los hadrones son partículas subatómicas que experimentan fuertes interacciones nucleares. Enumera las partículas del átomo que son hadrones.

1 punto

17. La masa de un electrón es  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg. Utilizando la equivalencia entre masa y energía de Einstein, calcula la cantidad de energía correspondiente a un electrón. Recuerda que la velocidad de la luz es  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s y que  $1 \text{ J} = 6,242 \cdot 10^{12}$  MeV.

1 punto

18. La vida media del oxígeno 15 ( $^{15}_8\text{O}$ ) es 122 segundos. Calcula la constante de decaimiento para este isótopo.

1 punto

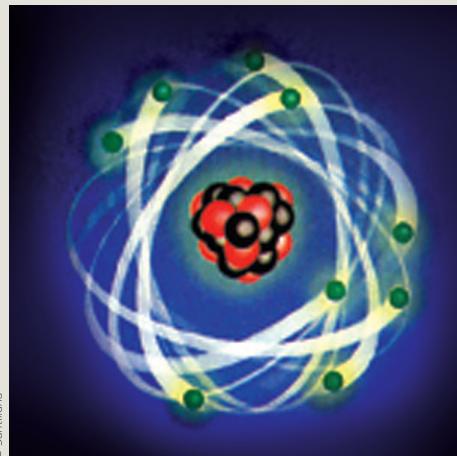
19. La vida media del manganeso 54 ( $^{54}_{25}\text{Mn}$ ) es de 312,1 días. En un instante  $t = 0$  se tiene una muestra de  $10^{15}$  núcleos activos de manganeso. Determinar:

- La actividad de la muestra en el instante inicial.
- El tiempo en que la muestra se reduce a  $10^5$  núcleos.

## Comunicación e información

La comunicación científica es básica en el mundo en el que vivimos, ya que sin ésta no se podrían transmitir todos los avances que hay en la vida científica y claro está que todavía estuviéramos en un gran atraso científico, tecnológico y humano. Es por esto que el ser humano desarrolla la necesidad de aprender y utilizar los avances que tenemos de una forma más formal para poder avanzar en el campo científico.

## Viendo lo invisible y dividiendo lo invisible



© Santillana

Cuando el ser humano pensaba que el átomo era la unidad fundamental de la materia, encontró que este estaba compuesto por partículas subatómicas más pequeñas.

Las estrellas se forman a partir de grandes volúmenes de gas, principalmente hidrógeno, que se contraen por efectos gravitatorios. Sus átomos empiezan a chocar unos con otros, calentándose hasta provocar reacciones como la fusión nuclear en la que el hidrógeno se transforma en helio, generando altísimas cantidades de energía.

Cuando se acaba el combustible nuclear, no son posibles más reacciones y la estrella hace su última contracción. Si tiene una masa inferior a pocas masas solares, se contrae hasta apagarse. Si su masa es de al menos 10 veces la del Sol, su muerte ocurre de manera espectacular con una enorme explosión conocida como *supernova*. En esta se emite en pocos segundos tanta energía como la que puede emitir el Sol en toda su vida, y se cree que una de ellas dio origen al universo. Las capas externas de la estrella son lanzadas hacia el espacio en forma de inmensas nubes de gases en expansión, mientras su núcleo sufre un colapso gravitatorio durante el cual toda su masa, equivalente a varias veces la del Sol, se concentra en una esfera de pocos kilómetros de diámetro y de densidad igual a 10 000 veces la del núcleo atómico. Se genera un campo gravitatorio tan fuerte que aún los rayos de luz emanados por la estrella empiezan a irradiarse hacia su propia superficie (como un búmeran), hasta que quedan atrapados y desaparecen a la vista. En este instante, se ha creado un agujero negro y su presencia solo puede ser detectada porque emite rayos X y porque, dada su enorme gravedad, atrae a los cuerpos que están en sus proximidades.

Se ha descubierto que el átomo no es la unidad fundamental de la materia y, además, un universo sorprendente con estrellas evolucionando, planetas que podrían albergar vida y misteriosos agujeros negros. Se ha encontrado que, al interior de los átomos y los agujeros negros, suceden cosas que ni la física ni las matemáticas tradicionales pueden explicar: las partículas que componen los átomos, como los electrones, bajo ciertas condiciones son capaces de comunicarse instantáneamente sin importar si están separadas por 10 metros o 10 millones de kilómetros. En los agujeros negros el tiempo y el espacio se deforman de manera que se producen movimientos cuya distancia no puede ser medida. A pesar de los adelantos tecnológicos, el interior de los átomos y los agujeros negros no han sido observados directamente y su estudio depende de métodos indirectos.



© Santillana

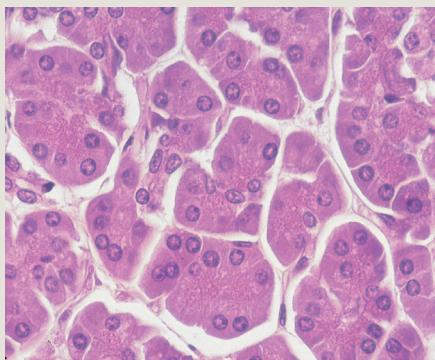
Al estudiar el espacio, el ser humano ha intentado comprender el origen de la materia, y, consecuentemente, del universo y de sí mismo.



## Los aceleradores de las partículas y el Universo subatómico

Hasta 1932, cuando se confirmó la existencia de los neutrones, los protones, los electrones y el núcleo, se consideraba al átomo como la unidad estructural de la materia. En 1938, gracias a los experimentos con electricidad y gases raros, se descubrieron partículas subatómicas más pequeñas como los positrones, los neutrinos y los mesones.

Luego, con la invención de máquinas conocidas como aceleradores de partículas, se han descubierto cientos más de estos componentes, aumentando profundamente nuestro conocimiento de los átomos.



© Santillana

Las imágenes de microscopía electrónica, basados en aceleradores de partículas que generan haces de electrones, nos han permitido conocer la estructura de las células y los organismos muy pequeños.

### Investiga

Consulta sobre la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad.  
¿Qué otras aplicaciones tienen?  
¿Qué instrumentos de uso cotidiano se basan en sus principios?

### Actividades

1. ¿Cómo crees que el estudio de los átomos influye en tu vida cotidiana?
2. ¿Crees que los agujeros negros tienen algún efecto sobre la Tierra?
3. ¿Por qué puede ser imposible realizar observaciones y mediciones directas del interior de los átomos y los agujeros negros?

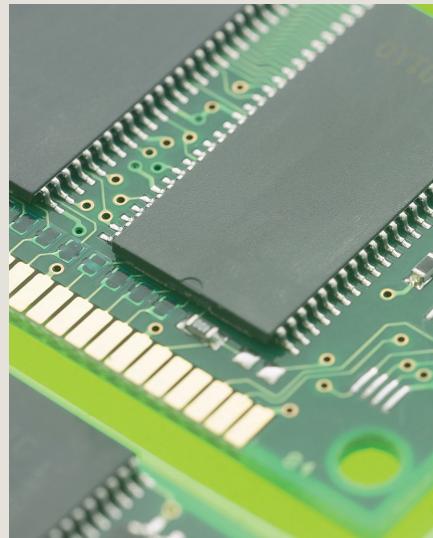
Los aceleradores de partículas permiten «observar» y estudiar el interior de los átomos. En estos, gracias a fuertes fuerzas electromagnéticas, se generan altas dosis de energía que producen haces de partículas subatómicas que se desplazan a una velocidad cercana a la de la luz que están dirigidos contra los átomos del material que se desea estudiar. Por su alta velocidad ellas atraviesan el campo de fuerza del núcleo del material de estudio y chocan contra él, produciendo miles de colisiones por segundo.

Un detector registra las trayectorias de las partículas atómicas que resultan de cada choque, y potentes computadoras las analizan y proporcionan información importante sobre la estructura y las propiedades de las partículas que han colisionado.

Uno de los mayores aceleradores del mundo es el sincrotrón, construido por la Organización Europea de Investigación Nuclear, consiste en una «pista de carreras» de 6,5 km de longitud en la que las partículas viajan por un conducto de pocos centímetros de anchura alojado en un túnel y dan cerca de 47 000 vueltas alrededor del circuito en un segundo. Los aceleradores de partículas han sido fundamentales para el desarrollo tecnológico.

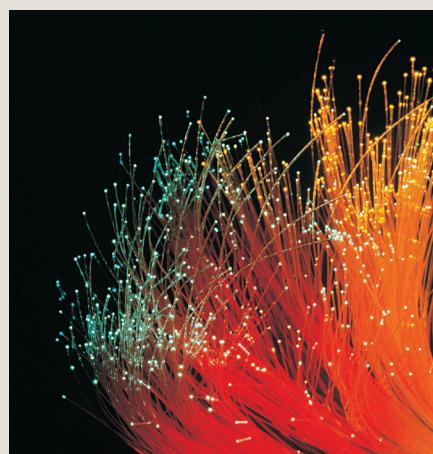
Los microcircuitos de los computadores son fabricados acelerando iones, generalmente de boro o fósforo, a velocidades cercanas a un tercio la de la luz y lanzándolos contra

pastillas de silicio donde se implantan. Sin estos implantadores no existiría la microelectrónica o los computadores y los circuitos serían millones de veces más grandes. En Medicina, los haces de electrones son utilizados para irradiar los tejidos afectados con cáncer y en la obtención de imágenes diagnósticas, como los rayos X.



© Santillana

La creación de microcircuitos cada vez más pequeños y de mayor velocidad se da gracias a los avances tecnológicos de los aceleradores de partículas.



© Santillana

El estudio de los átomos nos ha permitido comprender los fenómenos químicos y, así, desarrollar nuevos materiales con características específicas, resistentes y durables.



## La ley de Hooke

### EXPERIMENTO 1

#### MATERIALES

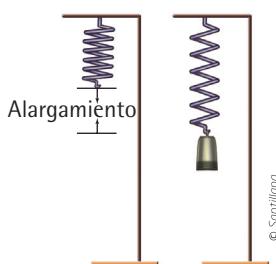
- Soporte universal
- Resorte
- Masas
- Regla

Cuando un resorte está en reposo, es decir, no está ni estirado ni comprimido, se dice que se encuentra en su posición de equilibrio. Al aplicar una fuerza sobre él, se observa que se produce una deformación cuya longitud depende de la fuerza aplicada. A un resorte le corresponde una constante elástica  $k$ , que se expresa en  $N/m$  y nos indica el valor de la fuerza que se debe aplicar para deformar el resorte una distancia de un metro.

En esta práctica nos proponemos obtener la relación entre la fuerza aplicada a un resorte y la deformación producida. Al aplicar fuerzas de diferentes valores al resorte y medir la longitud de las respectivas deformaciones, verificaremos la ley que relaciona ambas magnitudes, conocida como la **ley de Hooke**.

#### PROCEDIMIENTO

1. Suspende el resorte por uno de sus extremos al soporte universal y cuelga del otro extremo una masa, cuyo peso en  $g-f$  o en newton debes conocer.
2. Mide la longitud de la deformación del resorte, es decir, el alargamiento con respecto a la posición de equilibrio.



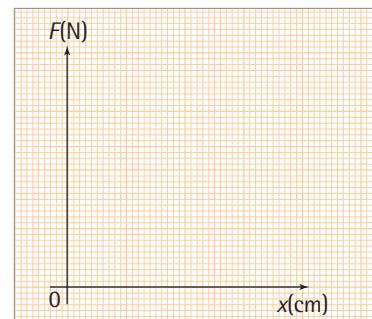
3. Agrega masas iguales sucesivamente y mide los alargamientos.

4. Registra los valores obtenidos en una tabla como la siguiente. Recuerda que  $1 N = 102 g-f$

Peso (g-f)	Peso (N)	Alargamiento (cm)

Es posible que algunos puntos no queden sobre la recta, sin embargo traza una, de manera que la mayoría de puntos queden lo más cerca posible a esta.

6. Determina la pendiente de esta recta.
7. Encuentra la ecuación de dicha recta.



5. Representa gráficamente los datos experimentales en el plano cartesiano. En el eje horizontal representa el alargamiento,  $x$ , y en el eje vertical, la fuerza,  $F$ . Traza la recta que los une.

#### ANÁLISIS

1. ¿La fuerza aplicada y la longitud del alargamiento son directamente proporcionales? Explica tu respuesta.
2. ¿Qué unidades le corresponden a la pendiente de la recta?
3. ¿Qué significado tiene la pendiente de la recta obtenida?
4. ¿Cómo sería la pendiente si se utilizara un resorte que, con las mismas

pesas, experimentara mayores deformaciones?

5. En el mismo plano que representaste los datos del experimento, traza una posible gráfica para un resorte que requiera de menor fuerza para producir los mismos alargamientos.
6. A partir de la gráfica y de la ecuación obtenida, ¿cómo calcularías el valor

del alargamiento correspondiente al valor de una fuerza no aplicada en el experimento?

7. ¿Qué relación hay entre la constante elástica del resorte y la pendiente de la recta?
8. A partir del trabajo experimental realizado, explica cómo calibrarías un dinamómetro.



## Sistema en reposo

### EXPERIMENTO 2

#### MATERIALES

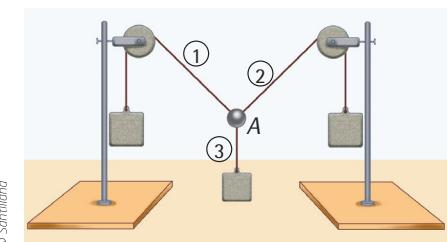
- Pesas
- Tres cuerdas
- Dos poleas
- Dos soportes universales
- Transportador

El principio de inercia establece que todo cuerpo permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme si no actúa ninguna fuerza sobre él o si la suma de todas las fuerzas que actúan sobre él (fuerza neta) es nula. Para un objeto que se encuentra en reposo, se cumple que la fuerza neta es igual a cero.

En esta práctica vamos a verificar que cuando sobre un objeto en reposo actúan tres fuerzas, la suma de dos de ellas debe ser de igual módulo y sentido contrario a la tercera.

#### PROCEDIMIENTO

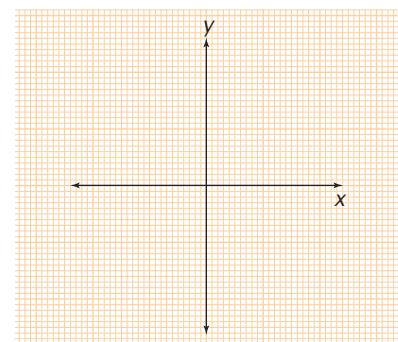
1. Ensambla el montaje que se muestra en la figura. Considera como objeto de estudio el punto A, pues sobre él actúan tres fuerzas.



© Santillana

2. Comprueba que la combinación de pesas que elegiste tenga posición única. Para ello, mueve el sistema de la posición en que se halla y observa si regresa a ella.

3. Mide los ángulos que forman las cuerdas 1 y 2 con la cuerda 3. Así tendrás la medida de los ángulos que forman las fuerzas entre sí y podrás construir un diagrama en el plano cartesiano.
4. En esta situación de equilibrio, el peso de los objetos colgados se transmite al punto A a través de las cuerdas, es decir, la tensión de cada cuerda es igual al peso del cuerpo que ella sostiene. Representa, a escala, las tensiones en el plano cartesiano.
5. Halla la suma de la tensión de la cuerda 1,  $\vec{T}_1$ , con la tensión de la cuerda 2,  $\vec{T}_2$ . Determina el módulo, la dirección y el sentido de la suma hallada.
6. Compara el módulo de  $\vec{T}_1 + \vec{T}_2$  con el de la tensión  $\vec{T}_3$ .
7. Repite la experiencia variando los pesos utilizados.



#### ANÁLISIS

1. ¿Por qué algunas combinaciones de tensiones como  $\vec{T}_1 = 50 \text{ g-f}$ ,  $\vec{T}_2 = 50 \text{ g-f}$  y  $\vec{T}_3 = 150 \text{ g-f}$  no son adecuadas para realizar el experimento?
2. ¿Qué valor debe tener el módulo de la suma de  $\vec{T}_1$  y  $\vec{T}_2$ ,  $\vec{T}_1 + \vec{T}_2$ , para que el sistema se encuentre en equilibrio?

3. ¿Cuál es el valor del módulo de la fuerza neta que actúa sobre un objeto que permanece en reposo? Explica tu respuesta.
4. Si los ángulos que forman las tensiones  $\vec{T}_1$  y  $\vec{T}_2$ , con la tensión  $\vec{T}_3$  son iguales, ¿cómo deben ser los valores de las tensiones  $\vec{T}_1$  y  $\vec{T}_2$ ?

5. Si el ángulo que forma la tensión  $\vec{T}_1$  con la tensión  $\vec{T}_3$  tiene mayor medida que el ángulo que forma la tensión  $\vec{T}_2$  con la tensión  $\vec{T}_3$ , ¿cuál de las dos tensiones ( $\vec{T}_1$  y  $\vec{T}_2$ ) tiene mayor valor?

# Bibliografía

## Enlaces web

En las direcciones web sugeridas a continuación encontrarás más información sobre los siguientes temas:

- Energía y trabajo: goo.gl/RhKxf (página informativa).
- Trabajo, potencia y energía: goo.gl/h1o9j (página informativa); goo.gl/unm4S (documento); goo.gl/Mu0Oc (blog); goo.gl/1O8ta (presentación en SlideShare).
- Campos eléctricos: goo.gl/HExnQ (entrada de Wikipedia); goo.gl/Y1spj (representaciones de campos eléctricos); goo.gl/AdQ1j (simulador de campos eléctricos).
- Monografías sobre Física: goo.gl/mZvi (lista de monografías)

## Libros

- Alvarenga, Beatriz y Máximo Antonio, *Física general*, México, Harla, 1998.
- Aristegui A, Rosana; Baredes, Carla; Fernández, Diego; Silva, Adrián; Sobico, Cecilia, *Física II*, Buenos Aires, Santillana, 2000.
- Atkins, Peter, *Fisicoquímica*, México, Fondo Educativo Interamericano, 1985.
- Equipo editorial Santillana, *Física*, Lima, Santillana, 2008.
- Babor A., Joseph y José Ibarz, *Química general moderna*, Barcelona, Marín, 1992.
- Barrada Solas, Francisco et al., *Física y Química 1 - Bachillerato*, Madrid, Santillana, 2008.
- Chang, Raymond, *Química*, Madrid, McGraw-Hill, 1993.
- Curtis, Helena y Sue Barnes, *Biología*, Buenos Aires, Médica Panamericana, 1993.
- Ebbing, Darrell D., *Química general*, México, McGraw-Hill, 1997.
- Equipo editorial Santillana, *Física 10*, Bogotá, Santillana, 2000.
- Equipo editorial Santillana, *Física 11*, Bogotá, Santillana, 2000.
- *Física*, Lima, Santillana Innova, 2008.
- *Física*, Madrid, Santillana educación, 2009.
- Giancoli, Douglas C., *Física: Principios con aplicaciones*, México, Prentice-Hall, 1994.
- Long, Gilbert y Forrest C. Hentz, *Química general. Problemas y ejercicios*, Buenos Aires, AddisonWesley, 1991.
- Longo, Frederick, *Química general*, México, McGraw-Hill, 1993.
- Masterton, William et al., *Química*, México, McGraw-Hill, 1991.
- Mortimer, Charles, *Química*, México, Iberoamericana, 1992.
- Perez Montiel, Héctor, *Física general*, México, Publicaciones Culturales, 2004.
- Ramírez Guerrero, Víctor, *Física 1: Cuaderno de ejercicios*, Quito, Summa Cultural, 2002.
- Russell, John B., *Química general*, Bogotá, McGraw-Hill, 1985.
- Sears, Francis W. et al., *Física universitaria*, México, Addison-Wesley, 1998.
- Serway, Raymond, *Física*, México, McGraw-Hill, 1993.
- Serway, Raymond y Jerry Faughn, *Física*, México, McGraw-Hill/Interamericana de México, 2001.
- Sienko, Michell y Robert Plane, *Química: Principios y aplicaciones*, México, McGraw-Hill, 1989.
- Skoog, Douglas et al., *Química analítica*, México, McGraw-Hill, 1997.
- Tipler, Paul, *Física*, Barcelona, Referté, 1992.
- Tippens, Paul, *Física: Conceptos y aplicaciones*, México, McGraw-Hill, 2001.
- Zitzewitz, Paul y Robert F. Neff, *Física 1*, México, McGraw-Hill, 2001.
- Vallejo, Patricio y Jorge Zambrano, *Física vectorial 1*, Quito, Graffiti Offset, 2002.
- Vallejo, Patricio y Jorge Zambrano, *Física vectorial 2*, Quito, Graffiti Offset, 2002.
- Vallejo, Patricio y Jorge Zambrano, *Física vectorial 3*, Quito, Graffiti Offset, 2002.
- Whitten, Kennet et al., *Química General*, México, Interamericana, 1998.
- Wilbraham, Antony C. et al., *Chemistry*, San Diego, Addison-Wesley, 1993.
- Wilson, Jerry D., *Física con aplicaciones*, México, McGraw-Hill, 1994.
- Wilson, Jerry et al., *Física*, México, Pearson Educación, 2007.