

1º Bachillerato

Física y Química

**ELZ**  
EDITORIAL ELZEVR



*1<sup>o</sup> Bachillerato*

# FÍSICA Y QUÍMICA

Ciencias y Tecnología

A thick orange line that starts horizontally from the left, then angles upwards to the right, ending near the top right corner of the page.

**Autores:**

**JOSÉ HIERREZUELO MORENO  
EDUARDO MOLINA GONZÁLEZ  
CARLOS SAMPEDRO VILLASÁN  
VÍCTOR DEL VALLE NÚÑEZ**

3ª edición

©

José Hierrezuelo Moreno  
Eduardo Molina González  
Carlos Sampedro Villasán  
Víctor del Valle Núñez  
Editorial Elzevir

c/ Doña Lola, edificio Las Torres  
29740 Torre del Mar  
Tfno.: 95-2545000- FAX: 95-2545225  
www.elzevir.es  
email: elzevir@elzevir.es

Portada: Antonio Martí Martínez  
Dibujos: Gabriel Ruiz Rodríguez

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

I.S.B.N.: 978-84-88280-78-7  
Depósito Legal: GR-1438-2008  
Imprime: Imprenta Santa Rita, Monachil (Granada)

Es posible que en cursos anteriores hayas tenido ocasión de estudiar con libros de los mismos autores y que, por lo tanto, conozcas ya el sistema de trabajo. Partimos de algunas ideas sobre la ciencia y su aprendizaje que son las que inspiran el enfoque y estructura tanto de este libro como de los anteriores.

Recuerda que es muy importante que trabajes las actividades con tus compañeros de grupo, antes de hacer la puesta en común. No te limites a aceptar las ideas de tus compañeros o a esperar las del profesor. No importa que al intentar resolverlas no lo hagas correctamente o no sepas hacerlas; no has perdido el tiempo, la discusión y reflexión previa de las actividades te ayudarán a comprenderlas mejor.

El símbolo  seguido de un número indica la dirección de una página web que encontrarás al final del libro. Acceder a estas páginas te permitirá repasar los contenidos que estarás trabajando en esos momentos.

Para estimular tu trabajo diario, se harán controles de clase periódicamente que te permitirán evaluar cómo marcha tu aprendizaje; si has tenido dificultades, no te desanimes y haz las actividades de recuperación que te ayudarán a comprender los aspectos básicos estudiados hasta ese momento, y presta también mucha atención al realizar el ejercicio de autoevaluación y su correspondiente corrección.

La complejidad de este curso es superior a la del anterior, por lo que para tener éxito será necesario complementar el trabajo de clase, con un mayor esfuerzo individual en casa. Como esta asignatura es opcional, esperamos de ti un gran interés y empeño.

El cálculo matemático juega un papel cada vez más importante a medida que avanzamos en el estudio de la Física y Química. No debes confiarlo al compañero o al profesor, es necesario que lo realices tú con lo que adquirirás una mayor destreza.

Te pedimos que colabores en las clases expresando tus opiniones y oyendo las de los demás, que realices las actividades que proponga tu profesor o profesora a ser posible en una tarea diaria que te resultará mucho más fructífera que si quieres hacerlo todo en unos pocos días antes del examen.

# Capítulo 1

## Contenido

Unidad 1

La teoría atómica

Unidad 2

La teoría del enlace químico



# Átomos, moléculas, iones

«El electrón es una teoría que nosotros utilizamos; tan útil resulta para comprender el funcionamiento de la naturaleza que casi podríamos decir que es un objeto real».

R. P. Feynman «¿Está usted de broma Sr. Feynman?» (1985)

## ¿Qué trabajaremos?

Empezaremos el capítulo recordando ideas y conceptos básicos estudiados en cursos anteriores, comenzando por el comportamiento de los gases, sólidos y líquidos, y siguiendo con algunos procesos físicos (cambios de estado, separaciones de mezclas...) y químicos que tuviste ocasión de conocer y realizar experimentalmente. Con ello aplicaremos las ideas fundamentales de las teorías cinético y atómico-molecular que ya conoces, a partir de las cuales nos plantearemos nuevos problemas hasta ahora no estudiados.

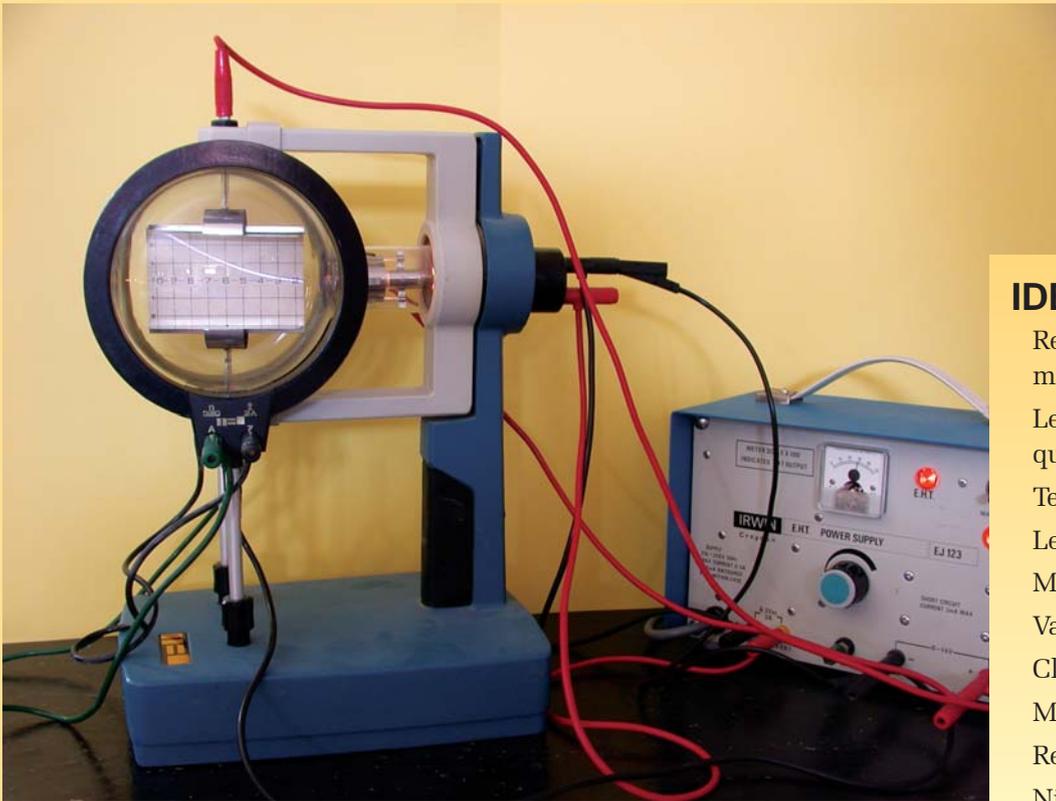
Veremos cómo el desarrollo del concepto de átomo y conjuntamente el desarrollo inicial de la Química fue laborioso, con modelos y teorías alternativas que supusieron grandes controversias entre los miembros de la comunidad científica hasta llegar a las ideas actuales.

Por último, analizaremos una nueva teoría, la del enlace químico, que profundiza sobre cómo son las uniones entre los átomos con el fin de poder explicar las características observables de las sustancias, su estado de agregación habitual, sus propiedades físicas y su comportamiento químico.



# 1

# LA TEORÍA ATÓMICA



## IDEAS PRINCIPALES

- Relación entre presión, volumen y temperatura de un gas
- Leyes de las reacciones químicas
- Teoría atómica
- Ley de Avogadro
- Masas atómicas y moleculares
- Valencia
- Clasificación periódica
- Modelos atómicos
- Regla del octeto
- Niveles y subniveles de energía

La Química se dedica fundamentalmente al estudio de las propiedades de las sustancias que nos rodean, la manera en que podemos aprovecharlas para mejorar nuestras condiciones de vida. Es por tanto una ciencia que se relaciona con aspectos importantes de nuestra vida diaria, nuestro bienestar, nuestra forma de vida. Pocas veces pensamos que actividades tan habituales como el hecho de cocinar los alimentos suponen la realización de reacciones químicas a veces bastante complicadas. ¿Qué podemos decir de la importancia de los plásticos, los medicamentos, los combustibles, el papel, las fibras artificiales, las bebidas, etc? Detrás de su obtención o aprovechamiento encontramos siempre procesos químicos diversos. Algunos de estos procesos pueden provocar efectos nocivos para el medio natural, pero no es menos cierto que tales efectos pueden minimizarse y, si no fuese así, tendríamos que plantearnos seriamente si realmente nos merecerá la pena mantener ciertas comodidades en nuestra forma de vivir a cambio de destruir o hacer más insano el medio en el que nos desenvolvemos. Es algo sobre lo que ya hemos discutido anteriormente, pero queremos hacerlo contando cada vez con mayor información y elementos de juicio.

# 1

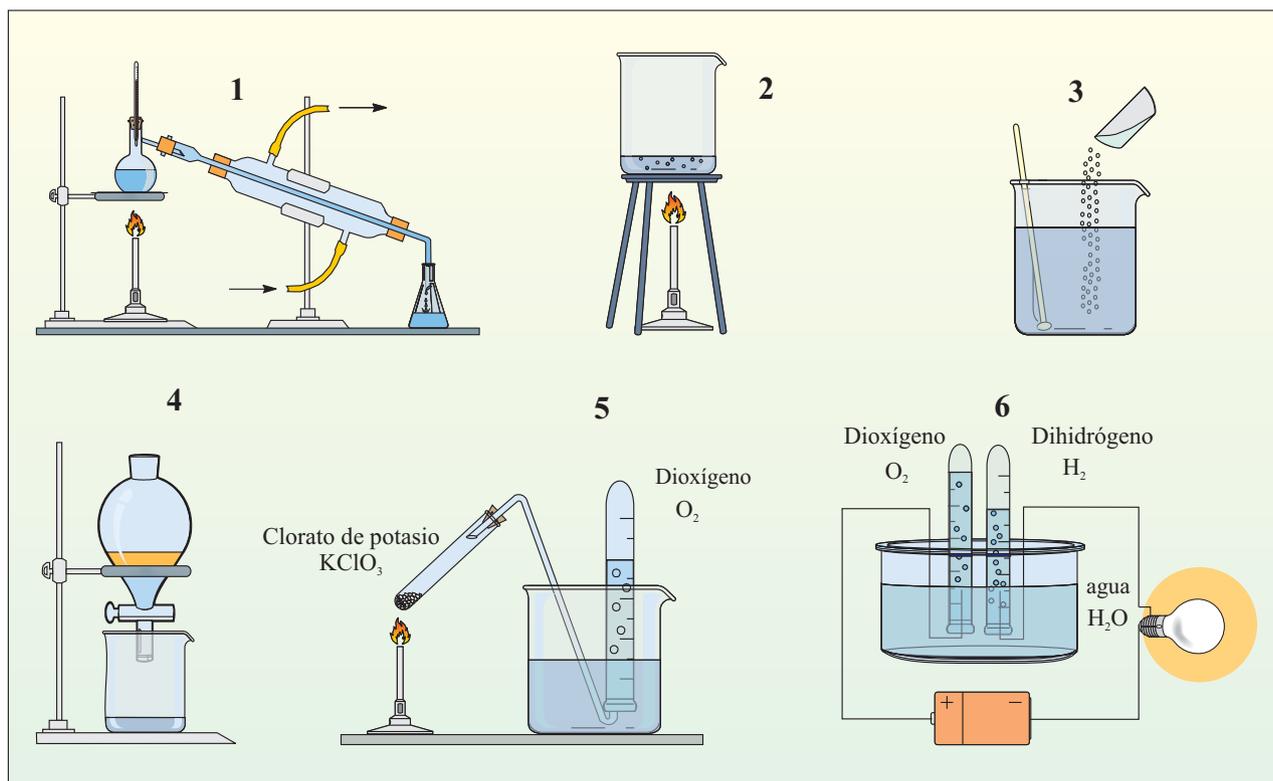
## FENÓMENOS QUÍMICOS

En los cursos anteriores has conocido distintos procesos, uno de los cuales, la reacción química, constituye el concepto central en el estudio de la Química.

**A.1.-** Los dibujos que tienes a continuación representan procesos, o bien los aparatos o dispositivos utilizados para llevarlos a la práctica.

a) Escribe el nombre y explica brevemente en qué consiste cada proceso.

b) Explica si cada uno de esos procesos sirve para separar sustancias o para descomponerlas e indica en cada caso si se trata de un proceso físico o químico. Justifica tu respuesta.



Llamamos **cambios físicos** a los que no alteran la naturaleza de las sustancias: un cambio de estado de agregación, un cambio de temperatura, el cambio de posición de un cuerpo, etc. Otras transformaciones suponen un cambio en la naturaleza de los sistemas, desapareciendo unas sustancias y apareciendo otras nuevas: son **cambios químicos o reacciones químicas**.

Para describir los sistemas materiales utilizamos una serie de conceptos cuyo significado recordamos a continuación. Las definiciones de cada concepto se hacen desde un punto de vista macroscópico, es decir, teniendo en cuenta las propiedades que podemos observar.

### Sustancia pura

Tiene propiedades características definidas. No puede separarse en dos o más sustancias mediante procedimientos físicos como: destilación, decantación, filtración, cristalización, calentamiento a sequedad, etc. Pueden ser simples o compuestos.

## Sustancia simple

Por tratarse de una sustancia, tiene propiedades características definidas. No desaparece ni por calentamiento, ni por electrólisis, ni por ningún otro procedimiento, para dar lugar a la aparición de otras sustancias más simples.

## Sustancia compuesto

Por tratarse de una sustancia, tiene propiedades características definidas. Puede desaparecer por calentamiento o electrólisis, dando lugar a la aparición de otras sustancias.

## Mezcla heterogénea

Está formada por varias sustancias distribuidas de forma desigual. Las propiedades varían según la zona de la mezcla que se considere.

## Disolución (mezcla homogénea)

Está formada por varias sustancias distribuidas homogéneamente, de forma que las propiedades son las mismas en todos los puntos de la mezcla.

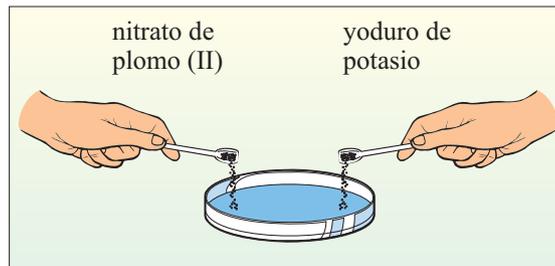


La sustancia de la fotografía ¿es simple?, ¿es una sustancia compuesto? Por su apariencia externa no es posible diferenciar una sustancia simple de un compuesto.

**A.2.-** Clasifica cada uno de los sistemas siguientes aplicándoles los calificativos que les correspondan de los recogidos en las definiciones anteriores: azúcar, hierro, sal común, agua del grifo, coca-cola, vino, aire, acero, sangría, agua destilada.

**A.3.-** Pon agua destilada en una placa de Petri hasta algo menos de la mitad del recipiente. Añade cuidadosamente un poco de nitrato de plomo (II),  $Pb(NO_3)_2$ , en un punto cercano al borde. A continuación, en un punto que se encuentre en el extremo opuesto al anterior, añade un poco de yoduro de potasio, KI.

- Observa y anota lo que ocurre.
- ¿Crees que se trata de un cambio físico o de un cambio químico?, ¿por qué?
- ¿Cómo es posible que sin agitar el agua se hayan podido encontrar el nitrato de plomo (II) y el yoduro de potasio, pese a que se colocaron en extremos opuestos del recipiente?
- Haz una interpretación de lo que ha pasado en la cápsula de Petri desde que añades el nitrato de plomo (II) hasta el final. Escribe la ecuación química representativa del proceso.



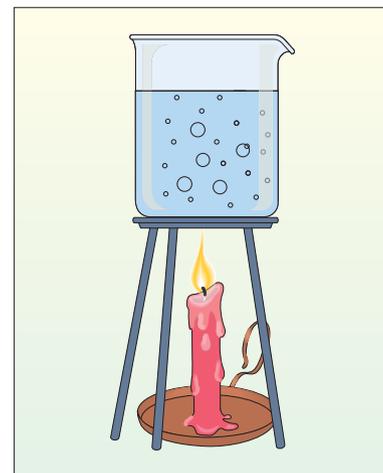
**A.4.-** En el montaje de la figura explica si los sistemas que se indican están experimentando o no una reacción química:

- El oxígeno del aire.
- La cera de la vela.
- El agua hirviendo.
- La mecha.

## Reacción química

Es aquel proceso en el que unas sustancias desaparecen, los **reactivos**, mientras que aparecen otras distintas, los **productos**. Se sabe que son sustancias diferentes porque lo son sus propiedades características.

Las sustancias que forman parte de las mezclas o de las disoluciones se pueden separar mediante procedimientos físicos como la filtración, la decantación, la destilación, etc. Sin embargo, cuando lo que se pretende es obtener una sustancia simple a partir de una sustancia compuesto, hay que realizar una reacción química pues en tal caso no se trata de separar dos sustancias, sino de destruir una sustancia y obtener otras distintas.



# 2

## LEYES DE LOS GASES

Las especiales características de los gases dieron pie a numerosas especulaciones que iban desde la simple aceptación de que fuesen o no materia como los sólidos o los líquidos hasta que hubiese solamente un gas, el aire, que podía presentarse en formas o con atributos muy diversos, incluso que no pesaran... Si importante fue el estudio e identificación de diferentes gases y la demostración definitiva de su materialidad, el estudio del comportamiento de los gases desde un punto de vista cuantitativo tuvo una importancia decisiva para el afianzamiento de la imagen atomística de la materia y para sentar así las bases de la química moderna.

Tales estudios cuantitativos llevaron a las llamadas **leyes de los gases**, cuyos antecedentes hay que buscar en científicos como Galileo, Torricelli, Pascal y Otto von Guericke que realizaron trabajos que permitieron establecer el concepto de presión atmosférica.



Robert Boyle (1627-1691)

### 2.1 Ley de Boyle-Mariotte

Fue el inglés Robert Boyle el primero en publicar, en 1660, los resultados de sus experiencias para estudiar cuantitativamente la compresibilidad de los gases, demostrando que la presión de una cantidad fija de gas es inversamente proporcional al volumen que ocupa, siempre y cuando se mantenga la temperatura constante. Esta relación se conoce como **ley de Boyle-Mariotte** porque la formulación precisa de la ley en 1676 se debe al físico francés Edmé Mariotte (1620-1684).

Mediante un dispositivo como el de la figura (diferente al usado por Boyle) se comprueba que si desplazamos el émbolo de manera que disminuya el volumen aumenta la presión del gas contenido en el recipiente. Debemos asegurarnos de que no entre ni salga gas del recipiente (cantidad de gas constante) y que la temperatura no cambie.

Si se hacen varias medidas de valores de volúmenes ( $V_1, V_2, \dots$ ) y los correspondientes valores de presión ( $P_1, P_2, \dots$ ) se observa que:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \dots = \text{constante} \quad (\text{cantidad de gas y temperatura constantes})$$

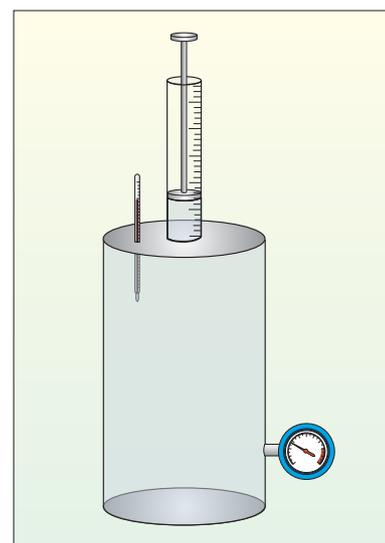
El valor de la constante anterior depende de la temperatura y de la cantidad del gas encerrado.

#### Ley de Boyle-Mariotte:

Para cualquier cantidad de gas a temperatura constante, el producto de su presión por el volumen que ocupa es constante:

$$PV = k$$

A partir de esta ley se pudo dar ya una primera interpretación para la estructura de los gases, interpretación que debía respetar propiedades conocidas de los mismos, especialmente la compresibilidad y expansibilidad. Boyle ya habló en 1660 de la posibilidad de usar dos modelos para ellos, uno estático y otro cinético.



#### 1.1

Simulación de la obtención experimental de la ley de Boyle. Puede comprobarse que esta ley es independiente del tipo concreto de gas. Si se obtienen varios valores experimentales de presión y temperatura la animación puede representar gráficamente los datos.

## 2.2 Ley de Gay-Lussac

Estudia la relación entre el volumen y la temperatura de un gas. Fue publicada en 1808 por Gay-Lussac (1778-1850), aunque debemos señalar trabajos anteriores de Amontons y de Charles (en algunos libros aparece también como ley de Charles y Gay-Lussac).

Según esa ley, si mantenemos constante la presión, los cambios de volumen que experimenta una cantidad fija de gas son directamente proporcionales a los cambios de temperatura.

Si se utiliza un dispositivo como el de la figura, al calentar el aire contenido en el recipiente aumenta el volumen que ocupa mientras que al enfriarlo disminuye el volumen ocupado. Eso permite tomar una serie de medidas de volúmenes a cada temperatura. Si es  $V_0$  el volumen ocupado por el gas a la temperatura de  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , se comprueba que el volumen  $V$  ocupado por esa misma cantidad de gas a otra temperatura  $t$  cualquiera se relaciona con el volumen ocupado a  $0\text{ }^\circ\text{C}$  por la expresión:

$$V = V_0 \left( 1 + \frac{1}{273} t \right) \quad (t \text{ es la temperatura en } ^\circ\text{C})$$

Lo que resulta más curioso es la observación de que **todos los gases se dilatan en la misma proporción**, independiente del gas que se utilice, algo que no ocurre cuando las sustancias están en estado sólido o líquido.

**A.5.-** Un gas ocupa un volumen de 2 L a  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Calcula el volumen que ocupará a las temperaturas de  $-273\text{ }^\circ\text{C}$  y  $-300\text{ }^\circ\text{C}$ , suponiendo que la presión y la cantidad de gas se mantengan constantes.

De la ecuación anterior se puede deducir la existencia de un límite inferior de temperaturas. Si representas los valores de  $V$  y  $t$  se obtiene una recta que extrapolada corta al eje de temperaturas en el valor  $-273\text{ }^\circ\text{C}$  que correspondería a un volumen nulo ocupado por el gas. Para temperaturas inferiores, como  $-300\text{ }^\circ\text{C}$ , el volumen resulta ser negativo. ¡Pero qué significa un volumen negativo! Es algo inconcebible, por lo que se postuló que no podían existir temperaturas inferiores a  $-273\text{ }^\circ\text{C}$ . A ese valor de la temperatura se le llamó **cero absoluto**, indicando con ello que no se podía sobrepasar. Hoy sabemos que esa temperatura límite es de  $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$  y hasta el momento ha resultado inalcanzable.

El físico inglés Lord Kelvin (1824-1907) propuso una nueva escala de temperaturas cuyo origen fuese el cero absoluto y que fue llamada escala absoluta de temperaturas. En esta escala, la unidad de temperatura se denomina kelvin. La relación entre esta escala y la Celsius es:

$$T = t + 273$$

$T$  representa la temperatura en la escala absoluta y  $t$  en la escala Celsius.

Si transformamos la ecuación anterior podemos escribirla como sigue:

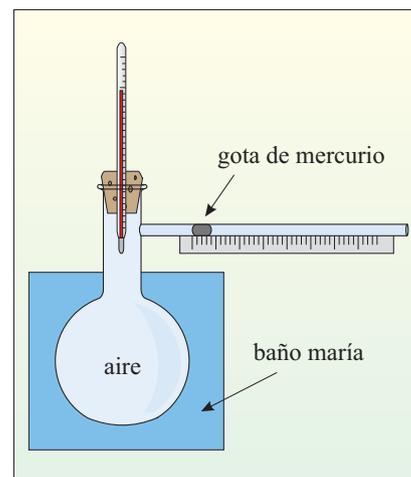
$$V = V_0 \left( 1 + \frac{t}{273} \right) = V_0 \left( \frac{273 + t}{273} \right) = V_0 \frac{T}{273} = kT$$

La constante  $k$  depende de la cantidad de gas y de la presión. La expresión  $V = kT$  sólo es correcta cuando la temperatura se expresa en la escala absoluta de temperaturas o escala Kelvin.

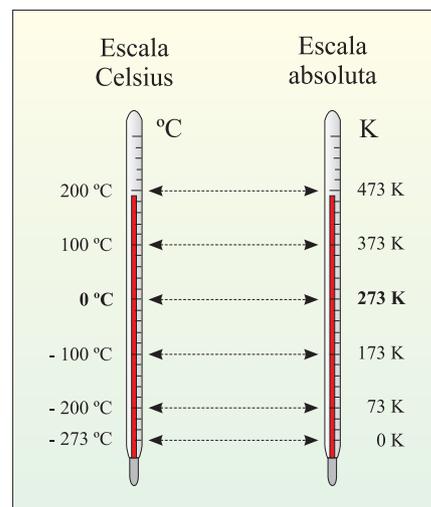
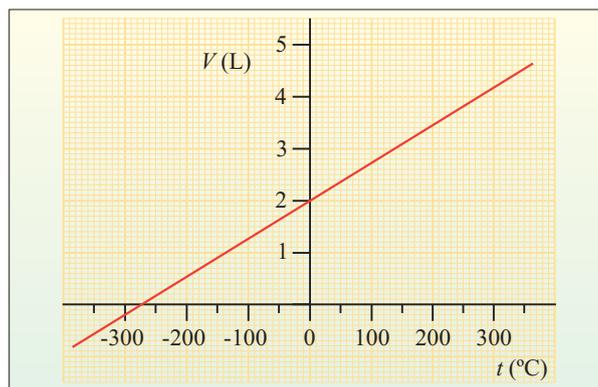


1.2

Simulación de la obtención experimental de la ley de Gay-Lussac.



Dispositivo para realizar la experiencia de Gay-Lussac.



Escalas Celsius y absoluta

## Ley de Gay-Lussac

El volumen que ocupa un gas es directamente proporcional a su temperatura si no varía su presión:

$$V = kT$$

Las dos leyes que acabamos de estudiar se cumplen tanto más exactamente cuanto menor sea la presión a que está sometido el gas. A partir de aquí se definió el concepto de **gas ideal** como aquel gas que cumple exactamente las leyes de Boyle-Mariotte y de Gay-Lussac.

### ATENCIÓN

Las leyes de los gases se aplican sólo a los gases ideales. Los gases reales se comportan como si fuesen ideales cuanto menor sea la presión y mayor sea la temperatura.

## 2.3 Ecuación general de los gases

Teniendo en cuenta tanto la ley de Boyle-Mariotte (el volumen ocupado por un gas es inversamente proporcional a la presión) y la de Gay-Lussac (el volumen ocupado por un gas es directamente proporcional a la temperatura absoluta) podemos escribir que:

$$\left. \begin{array}{l} V \propto \frac{1}{P} \\ V \propto T \end{array} \right\} \Rightarrow V \propto \frac{T}{P} \Rightarrow \frac{PV}{T} = \text{constante}$$

El valor de la constante sólo depende de la cantidad de gas. Si la cantidad de gas es fija e indicamos con los subíndices 1, 2, ..., los distintos estados en los que podemos encontrar al gas se puede escribir:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \text{constante}$$



### 1.3

Además de la descripción de las leyes de los gases, en la sección «Laboratorio», se puede simular su estudio experimental, y se incluyen animaciones que ilustran la interpretación de las leyes con la TCM. Puedes bajar la aplicación para poder utilizarla sin necesidad de estar conectado.

### EJEMPLO

El cilindro de una bomba de bicicleta tiene un volumen máximo de 200 cm<sup>3</sup> cuando el émbolo se encuentra en el extremo del cilindro. Lo llenamos de aire a la presión de 1 atm y temperatura de 17 °C. Cerramos la salida de aire y empujamos el émbolo hasta que el volumen se reduce a 38 cm<sup>3</sup> siendo la temperatura en ese momento de 21 °C. Calcula la presión a la que estará el aire en ese momento.

En primer lugar hay que diferenciar claramente el valor de las variables  $P$ ,  $V$ ,  $T$ , que corresponde a cada estado, teniendo cuidado de expresar la temperatura en la escala absoluta o kelvin.

$$\text{estado 1} = \begin{cases} P = 1 \text{ atm} \\ V = 200 \text{ cm}^3 = 0,2 \text{ L} \\ T = (17 + 273)\text{K} = 290\text{K} \end{cases} \quad \text{estado 2} = \begin{cases} P = ? \text{ atm} \\ V = 38 \text{ cm}^3 = 0,038 \text{ L} \\ T = (21 + 273)\text{K} = 294\text{K} \end{cases}$$

Aplicando la ecuación general de los gases perfectos se obtiene el valor de la variable desconocida:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \frac{1 \cdot 0,2}{290} = \frac{P_2 \cdot 0,038}{294} \quad P_2 = 5,33 \text{ atm}$$

La presión obtenida es razonable ya que ha disminuido el volumen y ha aumentado la temperatura por lo que es lógico que la presión haya aumentado.

P

**A.6.-** a) Un cilindro contiene 1,75 L de aire, ejerciendo una presión sobre el émbolo de 2,5 atm a la temperatura de 20 °C. Se desplaza el émbolo, lo que hace aumentar la presión a 3 atm sin variar apreciablemente la temperatura. ¿Qué volumen ocupará el aire contenido en el cilindro?

b) Calcula la temperatura de un gas que está a 1 atm de presión y ocupa un volumen de 10 L sabiendo que momentos antes estaba a 20 °C, ocupando un volumen de 4 L y a una presión de 2 atm.

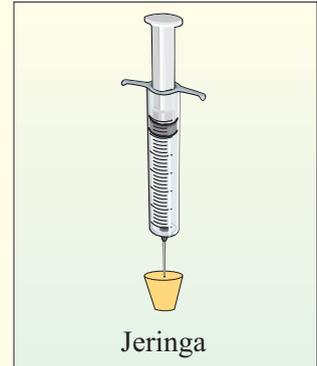
c) Una bombona rígida y hermética contiene un gas a 10 atm de presión y se calienta desde 20 a 100 °C. ¿Cuál será el volumen y la presión a 100 °C?

d) ¿Por qué crees que los fabricantes de neumáticos recomiendan verificar la presión de los neumáticos cuando están fríos?

Los gases no tienen volumen propio sino el del recipiente que los contiene. Para saber si cambia el volumen de un gas hay que analizar el tipo de recipiente. Según su comportamiento pueden ser: flexibles, semirígidos o rígidos.

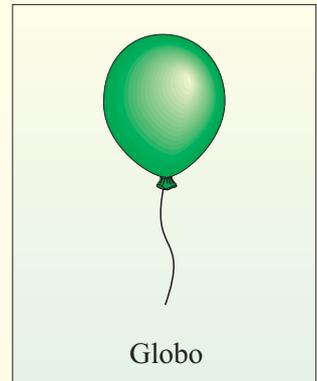
**RECIPIENTE FLEXIBLE**

El volumen cambia, de forma que la presión interior del gas es igual a la presión exterior.



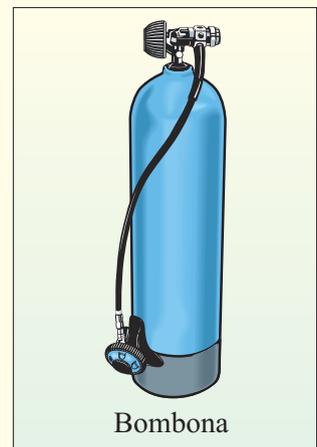
**RECIPIENTE SEMIRÍGIDO**

El volumen cambia, pero la presión interior puede ser mayor que la exterior.



**RECIPIENTE RÍGIDO**

El volumen no cambia, aunque cambie la temperatura o la presión exterior, que puede ser mayor, igual o menor que la interior.



**2.4 Interpretación de las leyes de los gases con la teoría cinético-molecular**

Las leyes de los gases pudieron ser explicadas con la teoría cinético-molecular, cuyas hipótesis principales podemos resumir como sigue:

\* La materia está constituida por partículas independientes a las que llamamos moléculas.

\* Las moléculas tienen masa.

\* Entre las moléculas no hay nada, sólo espacio vacío. El tamaño de los huecos entre moléculas es mucho mayor en el caso de los gases que en el de los sólidos y líquidos, por lo que el volumen de las moléculas de un gas es despreciable frente al volumen del recipiente que las contiene.

\* Las moléculas están en continuo movimiento. En los gases las moléculas se mueven libremente en todas direcciones. En los líquidos también se desplazan, aunque sin poder separarse libremente y en los sólidos también se mueven, pero sólo vibrando en torno a posiciones prácticamente fijas.

\* Cuando aumenta la temperatura del sistema las moléculas se mueven con más rapidez, lo que supone un aumento de energía cinética, por término medio, de las moléculas.

\* La presión de un gas está relacionada con el número de golpes (y con la intensidad de cada golpe) que dan las moléculas por unidad de superficie y tiempo con las moléculas de las paredes del recipiente que lo contiene.

P

**A.7.-** Utilizando las ideas de la teoría cinético-molecular que acabamos de recordar ¿qué explicación podrías dar a los siguientes hechos o fenómenos?:

a) Los gases no tienen forma ni volumen propio, adoptando los del recipiente que los contiene.

b) Los gases ejercen la misma presión sobre todas las paredes del recipiente que los contiene.

c) Los gases se difunden fácilmente.

d) La ley de Gay-Lussac.

e) La ley de Boyle-Mariotte.

f) La densidad de cualquier gas es bastante menor que la de los líquidos y los sólidos. Sin embargo, eso no ocurre tan claramente al comparar las densidades de líquidos y sólidos, pues encontramos líquidos y sólidos con densidades parecidas e incluso hay muchos líquidos más densos que otros muchos sólidos.

g) ¿Es más correcto hablar de gases o de estado gaseoso? ¿De sólido o de estado sólido? ¿Por qué?

P

## EJEMPLO

Continuando con el ejemplo anterior:

a) ¿Cómo se explica con la TCM el aumento de presión?

a) El aumento de temperatura supone aumento en la velocidad de las moléculas, por lo que la intensidad de cada choque con las moléculas de las paredes del recipiente habrá aumentado (aunque poco, ya que la temperatura ha cambiado muy poco). Si unimos el aumento de velocidad con la disminución de volumen, eso supone que habrá aumentado el número de choques (bastante, porque la disminución de volumen ha sido grande). Luego si hay más choques y son más intensos eso se traduce en un aumento de la presión.

Supongamos que mantenemos el émbolo en esa posición y disminuimos la temperatura a 5 °C.

b) ¿Habrá cambiado la velocidad de las moléculas?, ¿y el número de choques?, ¿y la intensidad de cada choque? De acuerdo con lo anterior, ¿habrá cambiado la presión?, ¿en qué sentido?

b) Si disminuye la temperatura disminuye la velocidad de las moléculas. Si las moléculas van más lentas y el volumen se mantiene igual, disminuye el número de choques. Puesto que la velocidad es menor la intensidad de cada choque será menor. Si disminuye la intensidad y el número de choques, habrá disminuido la presión.

**A.8.-** En un recipiente rígido de 10 L introducimos 200 g de un gas. El manómetro indica 3 atm y el termómetro 27 °C. (Presión atmosférica = 1 atm)

a) ¿A qué presión estará el gas? ¿Cuánto marcará el manómetro si calentamos el recipiente hasta una temperatura de 127 °C?

Si en esas condiciones escapan 100 g de dicho gas:

b) ¿Cambiará el número de golpes de las moléculas con las de las paredes?, ¿por qué?

c) ¿Cambiará la intensidad de cada golpe?, ¿por qué?

d) ¿Cambiará la presión?, ¿por qué?

### EL MANÓMETRO

Es un dispositivo que nos permite medir la diferencia entre la presión de un fluido y la atmosférica local. Por ello, si queremos conocer la presión del fluido debemos sumar a la lectura del manómetro la presión atmosférica local.



## 3

## ETAPA INICIAL DE LA TEORÍA ATÓMICA

En este apartado pretendemos que aprendas algo sobre cómo, a lo largo del tiempo, se va construyendo la ciencia. Tomaremos como ejemplo la teoría atómica desarrollada durante el siglo XIX.

Para poder valorar las aportaciones que hicieron los científicos ten en cuenta que conceptos que hoy nos parecen claros, como los de elemento, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla, etc., no se conocían o no se diferenciaban con claridad unos de otros, y que, por ejemplo, no había fórmulas, que algunas de las primeras fórmulas que se propusieron no se ajustaban a lo que hoy sabemos...

### 3.1 Leyes de las reacciones químicas

Empezaremos recordando algunos hechos experimentales que dieron lugar a varias leyes, conocidas por la comunidad científica. Puesto que de lo que se trata es que adquieras una idea global, sólo estudiaremos aquellas que son más útiles para nuestro objetivo.

## Ley de la conservación de la masa o de Lavoisier

La conservación de la masa en las reacciones químicas no quedó claramente establecida hasta finales del siglo XVIII gracias, sobre todo, a los trabajos del químico francés Lavoisier. Para ello hubo de superar numerosos obstáculos pues hay reacciones, como las de combustión, en las que parece que se pierde peso mientras que en otras, como la oxidación de los metales, parece que el peso aumenta.

Lavoisier insistió en aplicar los métodos cuantitativos de investigación a la Química, algo que hasta entonces era considerado más propio de físicos y matemáticos que de químicos. Utilizando la pesada para estudiar problemas químicos, demostró la conservación de la masa y explicó la combustión como una transformación química en la que las sustancias que ardían reaccionaban con el oxígeno del aire. Definió la materia como todo lo que tiene peso, cuestión importante para zanjar discusiones sobre la materialidad o no de algunos sistemas (como los gases).

A partir de los resultados obtenidos pesando sustancias antes y después de las reacciones químicas, estableció **la ley de conservación de la masa** aplicada a las reacciones químicas que se puede expresar como sigue:

En cualquier proceso químico la masa total de reactivos es igual a la masa total de las sustancias que se obtienen tras la reacción.

Los trabajos de Lavoisier, su ley de la conservación de la masa, sus métodos de trabajo aplicados a la Química, etc., supusieron un paso gigantesco para el progreso de la ciencia, pero debemos recordar que todo gran éxito en la ciencia se apoya en el trabajo, con errores y aciertos, de muchos científicos a los que frecuentemente olvidamos en los libros de texto, y que las grandes ideas acaban tomando cuerpo tras la confrontación de opiniones diversas y el contraste experimental de las mismas.

**A.9.-** a) ¿Qué piensas que diría y propondría hacer Lavoisier si alguien, para combatir sus ideas, le dijera que «cuando una vela se quema los productos obtenidos pesan menos que los reactivos»?

b) Comenta el enunciado siguiente y argumenta a favor o en contra utilizando las ideas de Lavoisier: «Al quemar la gasolina en el motor de un coche los productos pesan menos que los reactivos, ya que parte de ellos se han transformado en energía, que no es materia y que por tanto no pesa.»

c) Lavoisier fue ¿anterior, posterior o contemporáneo de Newton?, ¿anterior, posterior o contemporáneo de Dalton?, ¿y respecto a Faraday?



Lavoisier (1743-1794). Retrato con su esposa.

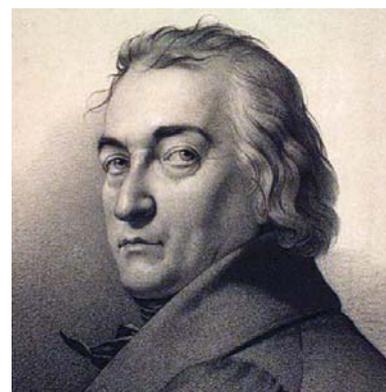


Joseph Louis Proust (1754-1826)

## Ley de las proporciones constantes

La **ley de las proporciones constantes** es un ejemplo claro del papel que juega en la ciencia las discusiones entre científicos que mantienen opiniones contrarias. Se origina entonces una dinámica que favorece la realización de experiencias e investigaciones para buscar argumentos en defensa de una y otra postura, investigaciones que, independientemente del resultado de la discusión, acaban beneficiando el desarrollo de la ciencia y favoreciendo la adquisición de nuevos conocimientos.

En este caso, los protagonistas principales de la polémica fueron Proust y Berthollet. Ambos eran franceses, aunque Proust vivió y trabajó en España durante cerca de 30 años. Por su parte Berthollet fue un químico brillante y de gran prestigio, colaborador de Lavoisier en numerosos trabajos, que llegó a ser considerado como uno de los «sabios oficiales» de Napoleón Bonaparte.



Claude Louis Berthollet (1748-1822)

P

La clave de sus diferencias estaba en que Proust consideraba que la proporción entre las masas de las sustancias que reaccionaban para formar una sustancia compuesta era siempre la misma, independiente del método y condiciones que se hubieran utilizado para obtenerla, etc. Lo enunció así en «su» ley, a la que se conoce como **ley de las proporciones definidas**, **ley de las proporciones constantes**, **ley de las proporciones fijas** o simplemente **ley de Proust**:

Quando dos o más sustancias simples se combinan para formar un determinado compuesto, lo hacen siempre manteniendo la misma proporción entre sus masas.

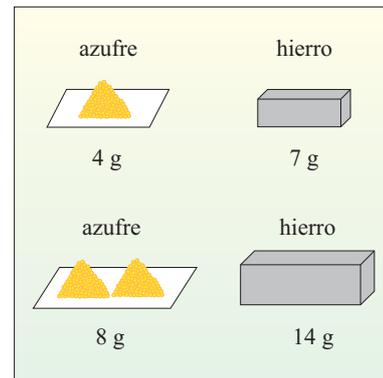
Por contra, Berthollet afirmaba que la composición de una sustancia compuesta podía variar ligeramente según las condiciones en que hubiese sido obtenida. Era una idea sensata para la época, si pensamos que aún no se conocía la teoría atómica de Dalton ni se tenían claras las diferencias que había entre lo que hoy se considera que es una sustancia compuesta y lo que es una mezcla o una disolución.

Hubo varias razones importantes para que acabaran aceptándose las ideas de Proust:

a) Proust no fue el «inventor» ni el descubridor de esta ley, cuya idea central ya estaba en la mente de científicos de la época e incluso anteriores. Sin embargo fue la persona que consiguió, al publicar en 1801 los resultados de sus cuidadosas medidas de las masas de sustancias que intervenían en las reacciones químicas, proporcionar datos y argumentos de suficiente peso como para que a esa idea se le diera rango de ley. Además tuvo la fortuna y la habilidad de poner de manifiesto que algunos de los resultados experimentales que utilizó Berthollet en apoyo de sus hipótesis procedían de análisis defectuosos, especialmente por haber utilizado compuestos impuros, y que por tanto no tenían tanto valor como los que él aportaba.

b) Una vez que se publicó la teoría atómica de Dalton en 1808, se veía claramente que la ley de las proporciones constantes encajaba mejor con ella que las tesis defendidas por Berthollet.

c) La ley de las proporciones constantes permitió predecir las cantidades que reaccionarían de diferentes reactivos y **proporcionó un criterio fiable para diferenciar entre mezcla y sustancia compuesta**. Las mezclas aparecían así como sistemas de composición variable, mientras que una sustancia compuesta tenía siempre una composición fija, una proporción determinada entre las masas de las sustancias simples a partir de las que podía obtenerse.



La proporción en la que reaccionan el azufre y el hierro para producir el monosulfuro de hierro es siempre la misma.

P

**A.10.-** La tabla de la derecha recoge los resultados obtenidos en cuatro experiencias diferentes para determinar la proporción en la que han reaccionado las sustancias simples hidrógeno y nitrógeno para dar lugar a la formación de la sustancia compuesta amoníaco.

a) ¿Crees que esos datos cumplen la ley de Proust?

b) Si en una experiencia vieses que reaccionan 5,91 g de hidrógeno con 18,21 g de nitrógeno ¿qué conclusión sacarías o qué comentario harías sobre lo que ha podido ocurrir en la reacción?

Experiencia	masa de N <sub>2</sub> (g)	masa de H <sub>2</sub> (g)
1 <sup>a</sup>	14,63	3,12
2 <sup>a</sup>	8,24	1,76
3 <sup>a</sup>	18,21	3,90
4 <sup>a</sup>	10,33	2,25

Hemos dicho que uno de los argumentos de más peso para aceptar la ley de Proust fueron los resultados que presentó de sus medidas, pero si las comparamos con las que actualmente se podrían hacer, encontramos en ellas un error que oscila en torno al 20%. Esto nos hace pensar sobre algo que ya hemos mencionado en ocasiones: si los resultados obtenidos no se ajustaban exactamente al enunciado de la ley que propuso el propio Proust ¿por qué la enunció así a pesar de todo?

Parece claro que tenía la convicción de que las cosas eran como las planteaba, independientemente de los resultados que hubiese sido capaz de conseguir, y que consideró suficientemente buenos y demostrativos los resultados experimentales tan sólo porque se aproximaban a algo de lo que él ya estaba convencido de antemano. Pero es que Berthollet también reacciona de forma semejante cuando, usando los resultados de otras experiencias con los mismos o más defectos e imprecisiones que las de Proust, considera demostradas sus hipótesis.

Esto es algo que sucede con frecuencia y no tiene por qué verse necesariamente como algo negativo, porque no quita ningún valor a las experiencias (si sus resultados hubiesen sido muy distintos a los previstos, por muchas convicciones que tuviese el investigador, la comunidad científica los habría rechazado desde el principio) pero sí va en contra de la idea que tiene mucha gente de que la ciencia se basa en verdades absolutas incontestables porque se apoya en la experiencia. En la obtención de conclusiones, juegan un papel importante los resultados experimentales, pero también las convicciones que previamente tienen los investigadores, lo que les hace fijarse más o darle más importancia a unos aspectos que a otros.

### Ley de los volúmenes de combinación o de Gay-Lussac

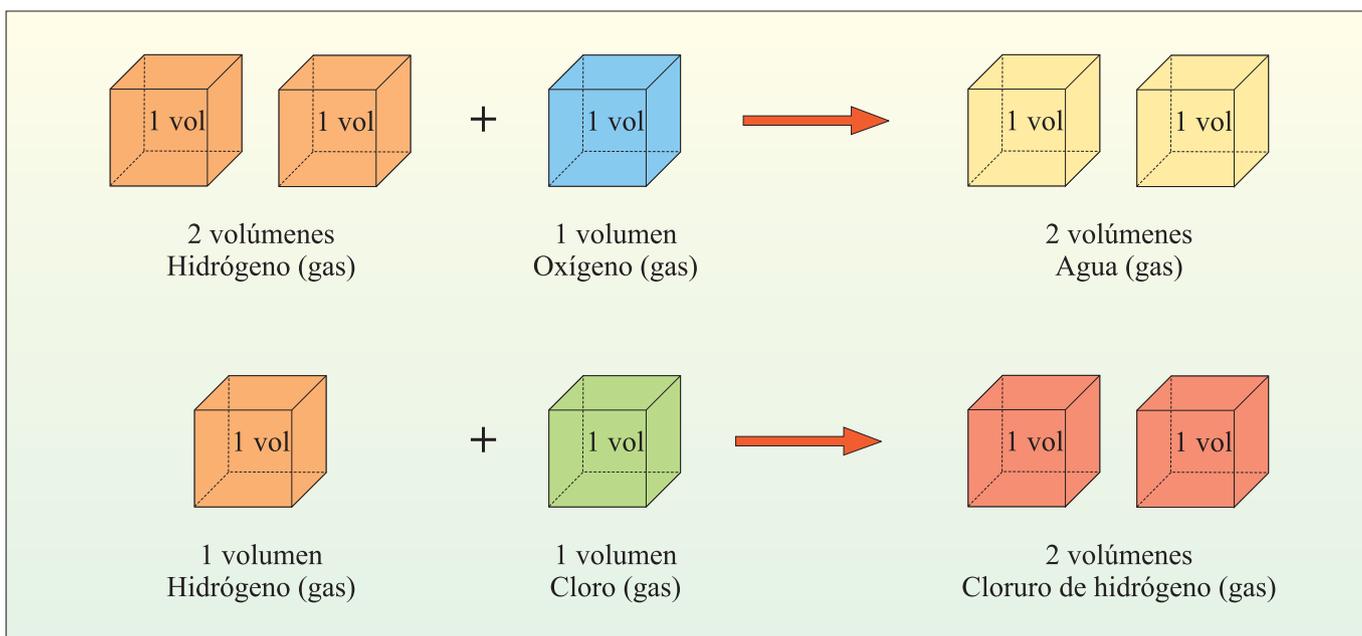
J. L. Gay-Lussac dedicó una atención especial a las reacciones entre sustancias en estado gaseoso. Observó que al obtener agua en estado gaseoso los volúmenes de hidrógeno y oxígeno que intervenían en la reacción estaban en la proporción 2 a 1 (en las mismas condiciones de presión y temperatura). La extensión de experiencias semejantes a otras sustancias gaseosas le proporcionó una sólida base experimental para enunciar su **ley de los volúmenes de combinación** diciendo que:



Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850)

Quando se produce una reacción en la que intervienen gases, los volúmenes de las sustancias gaseosas, tanto reactivos como productos de la reacción, guardan entre sí una relación dada por números sencillos, si se mantienen las condiciones de presión y temperatura.

Podemos aclarar el significado de la ley con algunos ejemplos que representamos esquemáticamente, de forma que cada cubo representa un volumen determinado del gas de que se trate, 2 cubos, doble volumen...



P

**A.11.-** Las tablas recogen algunas medidas que pueden hacerse en las reacciones para obtener agua o para obtener amoníaco. Suponiendo que se cumpla la ley de Gay-Lussac, completa aquellas casillas en las que no se ha puesto el valor de las medidas.

Volumen (litros)		
Hidrógeno	Oxígeno	Agua (gas)
2	1	2
4	2	4
5	?	?

Volumen (litros)		
Hidrógeno	Nitrógeno	Amoniaco
3	1	2
6	2	4
8	?	?

Gay-Lussac realizó las experiencias en 1808 y la publicación de sus resultados se produjo en 1809. Por entonces aún no se había completado la publicación de los trabajos de Dalton en los que se recoge su teoría atómica, que sin embargo ya era conocida por algunos. Al hablar de la teoría de Dalton comentaremos las dificultades que se encontraba para justificar la ley de Gay-Lussac.

### 3.2 Teoría atómica de Dalton

En el apartado anterior hemos recogido lo que podríamos considerar hechos observables que dieron lugar al establecimiento de una serie de leyes que cumplían las reacciones químicas. En este apartado analizaremos las hipótesis que se fueron elaborando para justificar estas leyes y, en definitiva, para explicar en qué consiste una reacción química y avanzar en el conocimiento de la naturaleza de la materia.

Lavoisier, en el prefacio a sus «*Elementos de química*» publicados en 1789, define el concepto de elemento (lo que hoy llamamos sustancia simple) como aquella sustancia que no puede descomponerse en otras más simples. Quedaba abierta para él la posibilidad de que hubiera sustancias consideradas hasta entonces como simples, pero que en realidad no lo fuesen si se demostraba en investigaciones posteriores que podían descomponerse en otras más sencillas.

John Dalton, científico inglés, publicó entre 1808 y 1810 una teoría que intentaba estar de acuerdo con las leyes ponderales y con la idea de elemento propuesta por Lavoisier, para explicar lo que ocurre en las reacciones químicas. Las principales hipótesis de la teoría atómica de Dalton, en un lenguaje actualizado, son:



John Dalton (1766-1844)

#### Hipótesis de la teoría atómica de Dalton (1808 - 1810)

1. La materia está formada por átomos indivisibles e inalterables.
2. Las sustancias compuestas están formadas por átomos compuestos.
3. Todos los átomos de una sustancia son idénticos y por tanto tienen la misma masa e idénticas sus demás propiedades.
4. Los átomos de distintas sustancias tienen diferentes la masa y las demás propiedades (como el tamaño...).
5. Cuando se produce una reacción química, los átomos, puesto que son inalterables, ni se crean ni se destruyen, tan sólo se distribuyen y organizan de otra forma.

Como puedes ver, hay una aparente contradicción entre la indivisibilidad del átomo y la existencia de átomos compuestos, contradicción que no existía para Dalton, pues afirmaba que un átomo compuesto podía dividirse, pero entonces dejaba de ser un átomo de lo que era y se convertía en átomos de los elementos que lo constituían. El concepto de átomo compuesto presentaba así cierta similitud con el actual concepto de molécula.

P

**A.12.-** ¿Qué hipótesis de la teoría atómica de Dalton no son aceptables en la actualidad?

**A.13.-** De acuerdo con la teoría de Dalton ¿en qué consiste una reacción química?, ¿hay desaparición de sustancias?, ¿aparecen sustancias nuevas?, ¿desaparecen átomos?, ¿aparecen átomos nuevos? Cuando contestes cada pregunta indica en cuál de las hipótesis de Dalton te has basado.

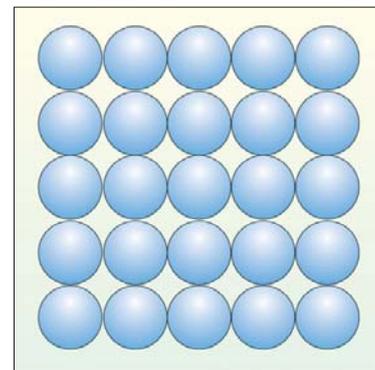
Además de las hipótesis expuestas es interesante hacer mención a otras convicciones de Dalton, especialmente en lo que se refiere a dos cuestiones: a) el modelo que defendía para explicar el comportamiento de los gases y b) la importancia que daba a la llamada regla de la mayor simplicidad.

a) Dalton suponía que los gases estaban formados por átomos en contacto (la aceptación del vacío siempre ha sido difícil) y en reposo, por lo que el volumen que ocupaba un gas dependía del tamaño de los átomos (**modelo estático de gas**).

La explicación que daba a fenómenos como la compresión o expansión de un gas era bastante enrevesada, difícil de entender.

b) La **regla de la mayor simplicidad** podemos expresarla así: “cuando no sea posible más que una combinación entre sustancias simples ésta será siempre la más simple (en este caso la binaria), salvo que haya alguna causa especial conocida que demuestre lo contrario. Si hubiera dos posibles tipos de combinaciones éstas serían la binaria y la ternaria y así sucesivamente”.

Así propuso como símbolo para el átomo compuesto del agua (hoy la llamaríamos fórmula del agua) la expresión más sencilla HO (en lugar de H<sub>2</sub>O) puesto que no se conocía por entonces ninguna otra combinación entre oxígeno e hidrógeno. Para el amoníaco, por ejemplo, proponía NH (y no NH<sub>3</sub> como se hace actualmente). Si conocía dos óxidos de nitrógeno consideraba que uno era el NO y otro el NO<sub>2</sub> y así sucesivamente.



Modelo estático para un gas

**A.14.-** a) ¿Qué fórmulas propondría Dalton, de acuerdo con la regla de mayor simplicidad, para los gases hidrógeno, cloro o sulfuro de hidrógeno?

b) Haciendo uso de la teoría de Dalton intenta justificar la ley de la conservación de la masa. ¿Cuáles de las hipótesis que te hemos indicado antes has utilizado en tus razonamientos?

### Explicación de la ley de Proust con la teoría de Dalton

La ley de Proust referida a la reacción del cloro con el hidrógeno para formar cloruro de hidrógeno nos dice que la proporción entre las masas de esas sustancias que reaccionan es constante. Podemos expresarla así:

$$\frac{\text{masa de cloro que reacciona}}{\text{masa de hidrógeno que reacciona}} = \text{constante}$$

De acuerdo con las hipótesis de Dalton, la cantidad que reacciona de cada sustancia será:

$$\text{masa de cloro} = n^{\circ} \text{ de átomos de cloro } (N_{\text{Cl}}) \cdot \text{masa de un átomo de cloro } (m_{\text{Cl}})$$

$$\text{masa de hidrógeno} = n^{\circ} \text{ de átomos de hidrógeno } (N_{\text{H}}) \cdot \text{masa de un átomo de hidrógeno } (m_{\text{H}})$$

Según la regla de máxima simplicidad de Dalton la fórmula del cloruro de hidrógeno es HCl (que coincide con la que se propone actualmente); por tanto, el número de átomos de cloro debe ser igual al número de átomos de hidrógeno que se hayan combinado entre sí:  $N_{\text{Cl}} = N_{\text{H}}$ . Si hacemos el cociente al que se refiere la ley de Proust::

$$\frac{\text{masa de cloro}}{\text{masa de hidrógeno}} = \frac{N_{\text{Cl}} \cdot m_{\text{Cl}}}{N_{\text{H}} \cdot m_{\text{H}}} = 1 \cdot \frac{m_{\text{Cl}}}{m_{\text{H}}} = \text{constante}$$

Lo mismo que se ha explicado para el caso de la combinación entre el hidrógeno y el cloro puede hacerse para cualquier otro compuesto. Además, la combinación entre la teoría atómica y la ley de Proust permitió obtener los primeros valores para la masa de los átomos.

## ¿Cómo medir la masa de los átomos?

Dalton suponía que los átomos tenían masa, (ver hipótesis 3 y 4) y ante la imposibilidad de medir directamente la masa de un átomo se propuso el concepto de masa atómica relativa, definido como sigue:

**Masa atómica relativa** de un elemento es el número de veces que la masa de un átomo de dicho elemento es mayor que la masa de un átomo de hidrógeno.

Al justificar la ley de Proust hemos visto cómo medir la masa atómica relativa. Experimentalmente se puede determinar el valor de la constante que es igual al cociente entre la masa de cloro y de hidrógeno que reaccionan entre sí. Esa constante es igual al cociente entre las masas de un átomo de cloro y otro de hidrógeno. Así que si damos el valor 1 a la masa del átomo de hidrógeno podremos calcular la masa relativa del átomo de cloro.

P

**A.15.-** a) Calcula la masa atómica relativa del cloro teniendo en cuenta que 2,50 g de hidrógeno reaccionan con 89,25 g de cloro para dar cloruro de hidrógeno.

b) Calcula la masa atómica relativa del nitrógeno si 3,12 g de hidrógeno reaccionan con 14,63 g de nitrógeno para dar amoníaco. Ten en cuenta que, según la regla de máxima simplicidad de Dalton, la fórmula del amoníaco era NH.

La determinación de las masas atómicas relativas dependía de que fuese correcta la fórmula propuesta para el compuesto formado. Pero para obtener las fórmulas se necesita conocer la masa atómica relativa, como veremos más adelante. De esa forma, durante varias décadas hubo bastantes dudas y confusiones en los valores de las masas atómicas relativas de los elementos.

## ¿Qué avances proporcionó la teoría atómica?

La teoría de Dalton constituyó el primer esquema conceptual coherente capaz de explicar y relacionar multitud de conocimientos, leyes, etc. Así:

\* Permitió dar una **explicación** razonable de lo que ocurría en las **reacciones químicas** concibiendo la reacción química como un proceso de reordenación o redistribución de átomos.

\* Fue un modelo teórico que **permitió justificar las leyes ponderales**, como la ley de Lavoisier o la de Proust.

\* Dio al **concepto de elemento** una precisión y especificidad que hasta entonces no había tenido, asignando símbolos a los elementos conocidos y dando los primeros pasos para la formulación.

\* Afianzó la **introducción** de una nueva magnitud, el peso atómico, como propiedad que permitía diferenciar los átomos de unos elementos de los de otros. (En la actualidad no hablamos de peso sino de **masa atómica**).

## Algunas insuficiencias de la teoría de Dalton

Ya hemos mencionado lo confuso del concepto de «átomo compuesto». Además, el criterio de máxima simplicidad para proponer las fórmulas se mostró erróneo, si

La masa atómica del oxígeno se obtuvo a partir de las cantidades de hidrógeno y oxígeno que reaccionan para formar agua. Puesto que la fórmula del agua era HO, según la regla de máxima simplicidad, se obtuvo para la masa atómica del oxígeno el valor 8.

Para determinar la masa atómica de los átomos que no reaccionaban con hidrógeno se utilizaban los datos obtenidos en las reacciones con el oxígeno. Puesto que la masa atómica supuesta del oxígeno era incorrecta, muchas de las masas atómicas de esos átomos también eran incorrectas.

bien significó un intento para poder establecer las fórmulas de los compuestos y determinar la masa atómica relativa de los átomos.

Una de las dificultades principales que encontró la teoría de Dalton fue la imposibilidad de dar una explicación razonable a la ley de los volúmenes de combinación de Gay-Lussac. Esa imposibilidad era debida tanto a que las fórmulas que utilizaba Dalton eran incorrectas como al modelo estático que proponía para los gases. Según la teoría atómica los átomos de distintos gases debían tener diferente tamaño, por lo que, por ejemplo, en la síntesis del cloruro de hidrógeno, que según Dalton era:  $H + Cl \rightarrow HCl$ , al ser distinto el tamaño del átomo de cloro que el de hidrógeno, no podía reaccionar un litro de cloro con un litro de hidrógeno, como indicaban los datos experimentales de Gay-Lussac, ya que el volumen de uno sería diferente al del otro si contenían el mismo número de átomos.

Ante la imposibilidad de explicar los datos experimentales, la reacción de Dalton fue negarse a reconocer como correctos los datos proporcionados por Gay-Lussac, dedicándose a criticar los métodos experimentales utilizados por éste e insistiendo sobre todo en que esas relaciones dadas por números sencillos no tenían ningún significado. Una vez más, las convicciones de un investigador se imponen al análisis más racional de las situaciones y le llevan a rechazar o aceptar ideas sin un soporte tan sólido como el que puede presentar otro investigador (que indudablemente también está condicionado por su propia visión de las cosas).

### 3.3 La hipótesis de Avogadro modifica algunas ideas de la teoría de Dalton

El italiano Amadeo Avogadro propuso en 1811 una hipótesis algo atrevida para la época (tanto que tardó 50 años en ser aceptada), y que a la larga permitió armonizar la teoría atómica con la ley de los volúmenes de combinación. La **hipótesis de Avogadro** fue:



Amadeo Avogadro (1776-1856)

P

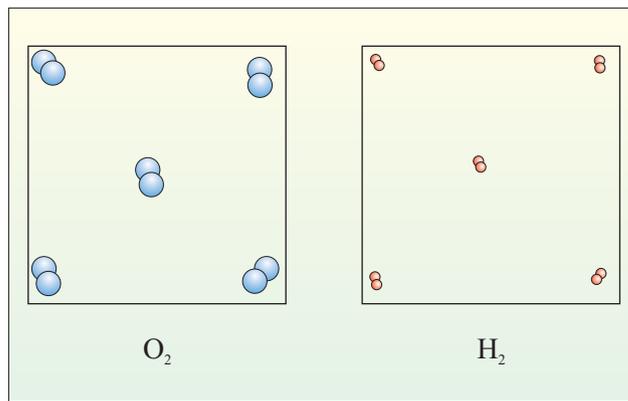
En las mismas condiciones de presión y temperatura, volúmenes iguales de diferentes gases tienen el mismo número de moléculas.

La hipótesis de Avogadro se basaba en algunas ideas contrarias a las de Dalton, como por ejemplo :

\* **El volumen que ocupa un gas depende fundamentalmente de las distancias que hay entre sus moléculas** y no del tamaño de las mismas, que es irrelevante en comparación con los huecos o distancias que hay entre ellas (una idea que posteriormente se admitió como base de la teoría cinético-molecular).

\* Se introduce el **concepto de molécula**, lo que lleva a distinguir entre molécula y átomo, pudiendo la primera estar constituida por más de un átomo, ya fuesen iguales (caso de las moléculas de las sustancias simples) o distintos (caso de las moléculas de las sustancias compuestas).

\* La regla de máxima simplicidad no es siempre la clave para conocer cuántos átomos constituyen una molécula de una sustancia determinada, sea sustancia simple o compuesto. Por ejemplo, la molécula de hidrógeno es  $H_2$  en lugar de H como predice la regla de máxima simplicidad; o la molécula de agua es  $H_2O$  en lugar de HO.

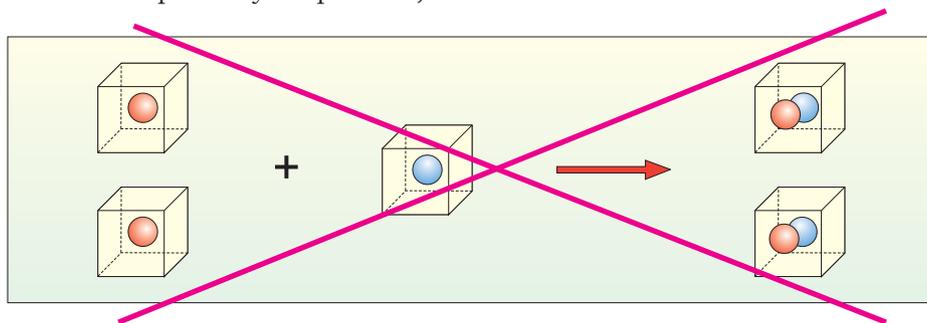


En volúmenes iguales caben el mismo número de moléculas sean de hidrógeno (más pequeñas) o de oxígeno (de mayor tamaño).

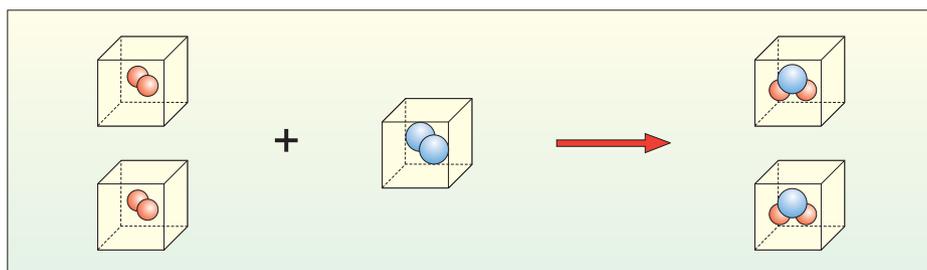
Con las ideas anteriores podemos justificar la ley de Gay-Lussac, sin necesidad de renunciar a uno de los puntos fuertes de la teoría de Dalton: el hecho de que en una reacción química lo que se produzca sea una reorganización de átomos.

Veamos un ejemplo con la síntesis del agua. Los datos experimentales establecen que reacciona doble volumen de  $H_2$  que de  $O_2$  para obtener un volumen de agua igual al que reaccionó de hidrógeno.

Según la regla de máxima simplicidad de Dalton, las moléculas de hidrógeno y oxígeno serían monoatómicas y la del agua sería HO. Interpretemos la reacción con el modelo cinético, y de acuerdo con la hipótesis de Avogadro, con el siguiente diagrama en el que cada cubo representa un volumen determinado (todos ellos en las mismas condiciones de presión y temperatura).



En cada uno de los cubos existirán el mismo número de moléculas (hemos dibujado una sola molécula para simplificar) y el resultado es incoherente con la teoría atómica pues en el producto hay el doble de átomos de oxígeno que en los reactivos. Sería necesario probar con moléculas «menos simples» hasta que coincidan teoría y experiencia, por ejemplo la que se propone en el siguiente esquema.



Se puede observar que, si se consideran las moléculas de hidrógeno y oxígeno diatómicas y la fórmula del agua  $H_2O$ , no existe contradicción entre los resultados experimentales de Gay-Lussac y la teoría atómico-molecular.

P

**A.16.-** Con ayuda de las ideas de Avogadro y conocidas las fórmulas correctas explica por qué 1 volumen de nitrógeno reacciona con 3 volúmenes de hidrógeno para dar 2 volúmenes de amoníaco.

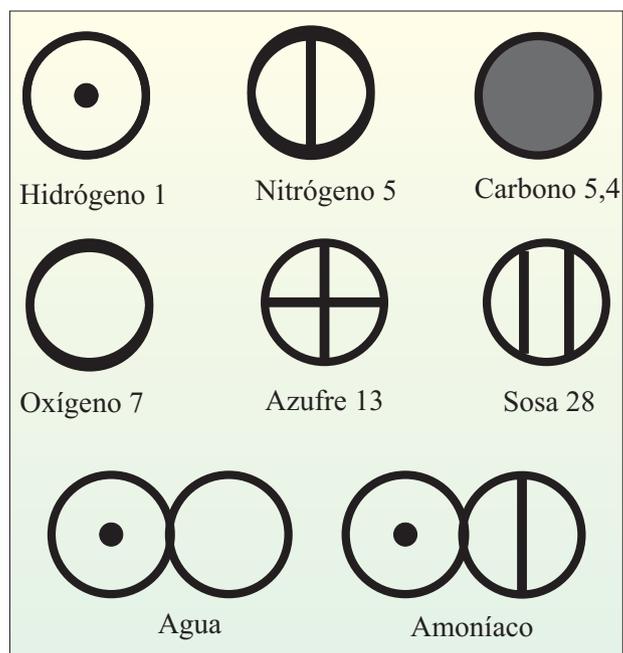
Las ideas de Avogadro hubieran permitido un avance más rápido de la investigación en la línea atomista que inició Dalton, pero en aquel momento no había demasiados hechos que la confirmasen (por eso dijimos que era demasiado atrevida para su época). Además, las argumentaciones de Avogadro a veces resultaban muy confusas e incluían, junto con esta hipótesis, otras bastante poco consistentes. Por todo ello, la entonces hipótesis de Avogadro, fue descartada o ignorada por la práctica totalidad de los científicos. El caso es que sus ideas quedaron en el olvido hasta que, en 1858, Estanislao Cannizzaro las hizo resurgir y demostró que con ellas se solucionaban algunos de los problemas que por entonces se discutían. Hoy está tan aceptada que en lugar de hipótesis nos referimos a ella como **ley de Avogadro**.

## Símbolos y fórmulas. Masas moleculares

Dalton le asignó un símbolo a los átomos de cada uno de los elementos conocidos y representaba los «átomos compuestos» como agregados de los símbolos de los elementos que los constituían. Como ejemplo incluimos algunos de los símbolos utilizados por Dalton para representar a los elementos y a los «átomos compuestos»; los números se refieren al valor estimado para la masa atómica de ese elemento en aquellas fechas. Puedes comprobar que consideraba como sustancia simple a la sosa, cuando en realidad es un compuesto.

La base de la formulación tal y como hoy se conoce fue establecida por Berzelius en torno a 1815. Hoy distinguimos entre diversos tipos de fórmulas como la fórmula empírica y la fórmula molecular. La **fórmula empírica** nos indica qué clases de átomos constituyen una sustancia y en qué proporción aparecen dichos átomos en la molécula o agregado de átomos de que se trate. Sin embargo la **fórmula molecular** nos indica concretamente qué clases de átomos y cuántos de cada clase hay en una molécula o agregado de átomos de que se trate. Así, por ejemplo, de una sustancia cuya fórmula molecular fuese  $N_2O_4$  la fórmula empírica sería  $NO_2$ .

Ya hemos hablado de la masa atómica relativa. La masa molecular relativa la definimos como sigue:



**Masa molecular relativa** de una sustancia es el número de veces que es mayor la masa de una de sus moléculas que la de un átomo de hidrógeno.

La masa molecular de una sustancia podemos calcularla sumando las masas atómicas de todos los átomos que constituyen su molécula.

Como masa unidad se tomó la masa del átomo de hidrógeno, por ser esta sustancia simple la que solía aparecer en menor proporción en masa en las reacciones en las que intervenía. Hoy se toma como unidad para medir masas atómicas la doceava parte de la masa de un átomo de carbono.

En las actividades complementarias puedes ampliar el proceso de determinación de las masas atómicas y moleculares.

**A.17.-** a) ¿Qué queremos decir al indicar que la masa atómica relativa del oxígeno es 16?

b) A partir de los datos que tienes en la tabla periódica, calcula las masas atómicas o moleculares relativas que corresponden a las siguientes especies químicas, indicando al lado si lo que has escrito es masa atómica o masa molecular:  $N_2$ ; N; O;  $NH_3$ ;  $H_2O$ ; CO;  $O_3$ ; NaCl;  $Na_2SO_4$ ;  $O_2$ ;  $NaHCO_3$ ;  $CaCO_3$ .

c) ¿Qué significado tienen los valores calculados?

Con ayuda de un aparato llamado espectrógrafo de masas se pudieron determinar los valores absolutos de las masas de átomos y moléculas. Como se trata de valores muy pequeños, se definió una unidad, la **unidad de masa atómica (u)** cuya equivalencia con la unidad de masa en el SI es:  $1 u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

**A.18.-** A partir de las ideas de la teoría atómica y las aportaciones de Avogadro, define los siguientes conceptos: sustancia simple, sustancia compuesto, mezcla heterogénea, disolución y elemento químico.

**A.19.-** Indica si en cada uno de los siguientes ejemplos hemos escrito un símbolo o una fórmula. En el caso de las fórmulas indica cuántos átomos y de qué tipo constituyen la molécula o agrupación de átomos que se representa. Indica también si nos referimos a una sustancia simple o a una sustancia compuesto. a)  $N_2$ ; b) H; c)  $H_2$ ; d)  $Na_2SO_4$ ; e) NaCl; f)  $H_2O$ .

**A.20.-** Calentamos un trozo de oro desde la temperatura de 20 °C hasta la de 1200 °C, temperatura a la que el oro ya se encuentra en estado líquido. Indica si son correctas las siguientes afirmaciones:

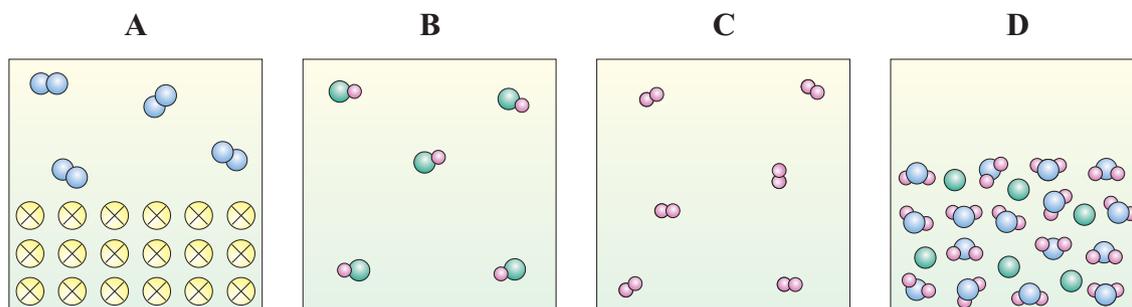
- a) Al calentar, cada átomo de oro habrá aumentado de tamaño.
- b) Un átomo de oro es más duro en el oro sólido que en el oro líquido.
- c) Los átomos de oro a 20 °C son sólidos mientras que los átomos de oro a 1200 °C son líquidos.
- d) En el oro líquido los átomos pueden desplazarse mientras que en el oro sólido únicamente pueden vibrar.



Oro nativo

**A.21.-** En las figuras siguientes se representa cómo nos imaginamos la estructura atómico-molecular de cuatro sistemas diferentes encerrados en un recipiente (que suponemos que es el recuadro rectangular que rodea los dibujos). En cada dibujo, los símbolos  $\otimes$   $\circ$   $\bullet$   $\circ$  representan átomos de diferentes elementos.

- a) Clasifica cada uno de esos sistemas como sustancia simple, sustancia compuesto, mezcla heterogénea o disolución.
- b) Indica el estado de agregación de cada uno de los sistemas.



## El concepto de valencia

Este concepto se desarrolló a mediados del siglo XIX. Está relacionado con la capacidad que tienen los átomos para combinarse y formar moléculas. Cuando se empezaron a conocer fórmulas de sustancias compuesto con cierta seguridad, llamó la atención la semejanza de algunas de ellas. En la tabla se recogen las fórmulas de algunos compuestos binarios que forma el hidrógeno.

$NH_3$	$H_2O$	HF
$PH_3$	$H_2S$	HCl
$AsH_3$	$H_2Se$	HBr

Se llamó **valencia** de un elemento al **número** de átomos de hidrógeno que se unían a cada átomo del mismo para formar moléculas. Esta propiedad se generalizó después, estableciéndose la valencia de un elemento como la capacidad de combinación que tiene un átomo de ese elemento cuando forma enlaces químicos con otros átomos o grupos de átomos para formar moléculas. La valencia del hidrógeno se consideró igual a 1 y por tanto se dijo que el hidrógeno era **monovalente**. Cuando no se conocían combinaciones del hidrógeno con algún elemento, se comparaba con otro elemento de valencia conocida que sí se combinase con el hidrógeno. Así, si el cloro es monovalente (puesto que se combina con un átomo de hidrógeno) el sodio también lo será, puesto que, cuando se combina con el cloro, forma cloruro de sodio, NaCl. De la misma forma el calcio será divalente porque forma con el cloro un compuesto, cloruro de calcio, de fórmula  $CaCl_2$ .

P

**A.22.-** a) Escribe la valencia del oxígeno y del azufre sabiendo que las fórmulas de sus compuestos con el hidrógeno son:  $H_2O$ ,  $H_2S$ .

b) Escribe la valencia del azufre sabiendo que las fórmulas de sus compuestos con el oxígeno son:  $SO_2$ , y  $SO_3$ .

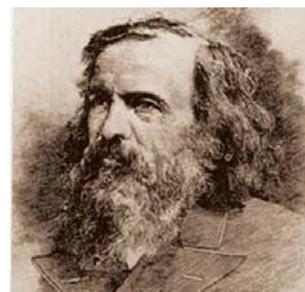
c) Escribe la valencia del nitrógeno, del fósforo y del arsénico sabiendo que las fórmulas de sus compuestos con el hidrógeno son:  $NH_3$ ,  $PH_3$ ,  $AsH_3$ .

d) Escribe las valencias del nitrógeno, del fósforo y del arsénico sabiendo que las fórmulas de sus compuestos con el oxígeno son:  $N_2O_3$ ,  $N_2O_5$ ,  $P_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $As_2O_3$  y  $As_2O_5$ .

## 4

# LA TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

A partir del primer tercio del siglo XIX empiezan a hacerse intentos de ordenar sustancias simples entre cuyas propiedades se encontraban ciertas semejanzas. Esos intentos no fructificaron hasta alrededor de 1870 cuando se habían identificado unas 60 sustancias simples de las que se conocían con bastante aproximación sus propiedades (densidad, puntos de fusión y de ebullición, etc.), así como algunas propiedades de los elementos correspondientes, (masa atómica, volumen atómico, valencia, etc.).



Dimitri Mendeleiev (1834-1907)

### La tabla periódica de Meyer y Mendeleiev

Utilizando propiedades diferentes como criterio de clasificación, dos científicos, el ruso Dimitri Mendeleiev y el alemán Lothar Meyer, llegaron prácticamente a clasificaciones idénticas. El primero de ellos ordenó los elementos según sus masas atómicas y teniendo más en mente las propiedades químicas de las sustancias simples, mientras que el segundo lo hizo fijándose en el volumen atómico y otras propiedades físicas. Mendeleiev publicó su trabajo en 1869, mientras que Meyer lo hizo en 1870.

Los trabajos de ambos permitieron establecer lo que se conoce como «**ley periódica**» según la cual las propiedades de las sustancias simples y de los elementos son función periódica de sus masas atómicas.

La tabla periódica de Mendeleiev y Meyer fue uno de los primeros pasos hacia la clasificación de los elementos. Actualmente, la tabla periódica podemos describirla esquemáticamente como sigue:

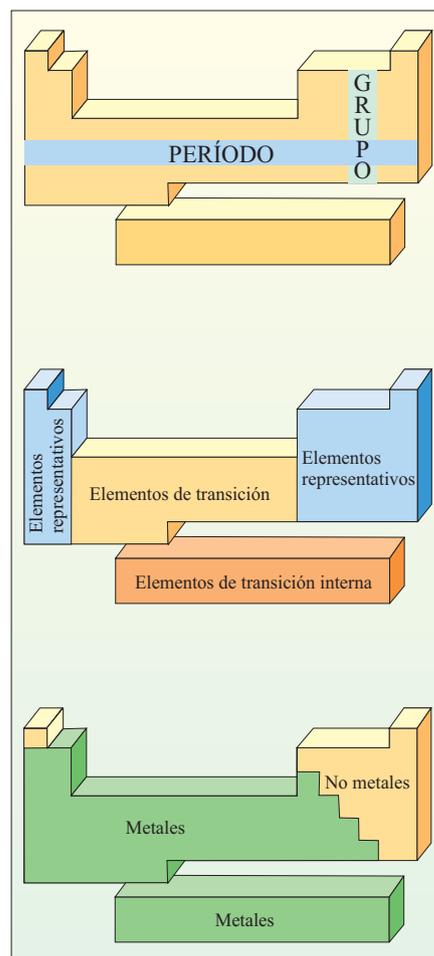
**V** \* Los elementos que están en una misma columna vertical constituyen un **grupo o familia**. Tienen propiedades parecidas.

\* Los elementos situados en una misma fila horizontal forman un **período**. Las propiedades de los elementos situados en un período varían gradualmente.

\* Se establecen dieciséis grupos, de los que ocho van numerados del uno al ocho y llevan además la letra A, mientras que los restantes también se numeran del uno al ocho, pero seguidos de la letra B. Excepcionalmente, los elementos del grupo VIII B se disponen en tres columnas.

\* Los elementos situados en los ocho grupos con letra A se conocen como **elementos representativos**, mientras que los que están con la letra B se conocen como **elementos de transición**.

\* Los nombres de cada uno de los grupos de los elementos representativos están recogidos en la página siguiente.



A partir de 1988 la IUPAC indica que se deben numerar los grupos correlativamente del 1 al 18.

\* Con la excepción del primero, los períodos empiezan siempre con un metal alcalino y terminan con un gas noble.

Los llamados **metales** se sitúan preferentemente en la parte izquierda y central de la tabla. Son elementos con propiedades típicas como el brillo, la alta conductividad térmica y eléctrica, etc.

Los llamados **no metales** se sitúan preferentemente en la parte derecha de la tabla periódica (observa la línea escalonada que divide a ambos grupos en la tabla).

Hay también otros elementos situados en una zona que podríamos considerar fronteriza, a los que llamamos **semimetales**, que tienen características intermedias entre metales y no metales: boro, silicio, germanio...

Fuera de la tabla se colocan dos series, cada una con catorce elementos, que por sus propiedades químicas deberían estar en el grupo IIIB. Son los **lantánidos** (les correspondería a todos el lugar que ocupa el lantano) y los **actínidos** (porque les correspondería el lugar que ocupa el actinio). Ambas series constituyen los **elementos de transición interna**.

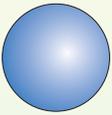
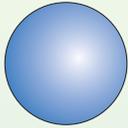
1 (IA)	Alcalinos
2 (IIA)	Alcalinotérreos
13 (IIIA)	Térreos
14 (IVA)	Carbonoideos o familia del carbono
15 (VA)	Nitrogenoideos o familia del nitrógeno
16 (VIA)	Anfigenos
17 (VIIA)	Halógenos
18 (VIIIA)	Gases nobles



Lothar Meyer (1830-1895)

- A.23.-** a) ¿Por qué a la tabla en que se clasifican los elementos químicos se le llama periódica?  
 b) ¿Qué quiere decir que el radio atómico es una propiedad periódica de los elementos?  
 c) ¿Es la valencia una propiedad periódica? Explica por qué.

**El radio atómico es una propiedad periódica**

Grupo IA	Grupo IIA	Grupo IIIA	Grupo IVA	Grupo VA	Grupo VIA	Grupo VIIA	Grupo VIIIA
 Litio	 Berilio	 Boro	 Carbono	 Nitrógeno	 Oxígeno	 Flúor	 Neón
 Sodio	 Magnesio	 Aluminio	 Silicio	 Fósforo	 Azufre	 Cloro	 Argón

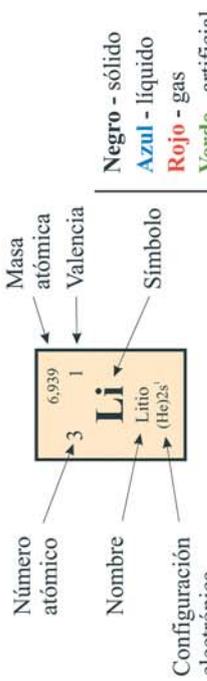
- A.24.-** a) Define qué es un grupo o familia de la tabla periódica. ¿Qué es un período?  
 b) Clasifica como metal, no metal o semimetal los elementos: calcio, bromo, plata y arsénico.  
 c) Si la fórmula del agua es H<sub>2</sub>O, ¿cuáles son las fórmulas probables de los compuestos que forman con el hidrógeno los elementos del grupo VI A?

# TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

No metales

Metales ligeros

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Período	IA	IIA																VIIIA		
1	1,008 <b>H</b> Hidrógeno (1s <sup>1</sup> )																	4,003 <b>He</b> Helio (1s <sup>2</sup> )		
2	6,939 <b>Li</b> Litio (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>	9,012 <b>Be</b> Berilio (He)2s <sup>2</sup>																	18,998 <b>F</b> Flúor (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>	20,183 <b>Ne</b> Neón (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>
3	22,989 <b>Na</b> Sodio (Ne)3s <sup>1</sup>	24,312 <b>Mg</b> Magnesio (Ne)3s <sup>2</sup>																	35,453 <b>Cl</b> Cloro (Ne)3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>	39,948 <b>Ar</b> Argón (Ne)3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>
4	39,098 <b>K</b> Potasio (Ar)4s <sup>1</sup>	40,08 <b>Ca</b> Calcio (Ar)4s <sup>2</sup>																	79,909 <b>Br</b> Bromo (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>	83,80 <b>Kr</b> Cripton (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>
5	85,47 <b>Rb</b> Rubidio (Kr)5s <sup>1</sup>	87,62 <b>Sr</b> Estroncio (Kr)5s <sup>2</sup>																	126,904 <b>I</b> Yodo (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>	131,30 <b>Xe</b> Xenón (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>
6	132,905 <b>Cs</b> Cesio (Xe)6s <sup>1</sup>	137,34 <b>Ba</b> Bario (Xe)6s <sup>2</sup>																	(210) <b>Po</b> Polonio (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup>	(222) <b>Rn</b> Radón (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>
7	(223) <b>Fr</b> Francio (Rn)7s <sup>1</sup>	(226) <b>Ra</b> Radio (Rn)7s <sup>2</sup>																	(210) <b>Bi</b> Bismuto (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup>	(222) <b>At</b> Astato (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>



Elementos de transición

IIIB	IVB	VB	VIB		VIIB		VIII		IX	X	XI	XII										
44,956 <b>Sc</b> Escandio (Ar)3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>	47,90 <b>Ti</b> Titanio (Ar)3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>	50,942 <b>V</b> Vanadio (Ar)3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>	51,996 <b>Cr</b> Cromo (Ar)3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup>	54,938 <b>Mn</b> Manganeso (Ar)3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>	55,847 <b>Fe</b> Hierro (Ar)3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>	58,71 <b>Ni</b> Níquel (Ar)3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>	63,54 <b>Cu</b> Cobre (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>	65,37 <b>Zn</b> Zinc (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>	69,72 <b>Ga</b> Galio (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup>	72,59 <b>Ge</b> Germanio (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>	74,922 <b>As</b> Arsénico (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>	78,96 <b>Se</b> Selenio (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>	83,80 <b>Kr</b> Cripton (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>									
88,905 <b>Y</b> Itrio (Kr)4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>	91,22 <b>Zr</b> Zirconio (Kr)4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>	92,906 <b>Nb</b> Niobio (Kr)4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup>	95,94 <b>Mo</b> Molibdeno (Kr)4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>	101,07 <b>Tc</b> Tecnecio (Kr)4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup>	106,4 <b>Ru</b> Rutenio (Kr)4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup>	107,87 <b>Rh</b> Rodio (Kr)4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup>	108,905 <b>Pd</b> Paladio (Kr)4d <sup>10</sup>	112,40 <b>Cd</b> Cadmio (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>	114,82 <b>In</b> Indio (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup>	121,75 <b>Sb</b> Antimonio (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>	126,904 <b>Te</b> Teluro (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup>	158,91 <b>La</b> Lantano (Xe)5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	178,49 <b>Hf</b> Hafnio (Xe)5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>	180,948 <b>Zr</b> Zirconio (Kr)4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>	182,22 <b>Hf</b> Hafnio (Xe)5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>	186,2 <b>Ru</b> Rutenio (Kr)4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup>	192,22 <b>Rh</b> Rodio (Kr)4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup>	196,967 <b>Pt</b> Platino (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup>	200,59 <b>Cd</b> Cadmio (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>	204,37 <b>Tl</b> Talio (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	207,19 <b>Pb</b> Plomo (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup>	208,980 <b>Bi</b> Bismuto (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup>
140,12 <b>Ce</b> Cerio (Xe)4f <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	140,907 <b>Pr</b> Praseodimio (Xe)4f <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>	141,24 <b>Nd</b> Neodimio (Xe)4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	144,24 <b>Pm</b> Prometio (Xe)4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	150,35 <b>Sm</b> Samario (Xe)4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	151,96 <b>Eu</b> Europio (Xe)4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	157,25 <b>Gd</b> Gadolinio (Xe)4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	162,50 <b>Dy</b> Disprosio (Xe)4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>	164,930 <b>Ho</b> Holmio (Xe)4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	167,26 <b>Er</b> Erbio (Xe)4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>	168,934 <b>Tm</b> Tulio (Xe)4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>	173,04 <b>Yb</b> Iterbio (Xe)4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>	174,97 <b>Lu</b> Lutecio (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>										
232,038 <b>Th</b> Torio (Rn)6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>	231 <b>Pa</b> Protactinio (Rn)5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	238,03 <b>U</b> Uranio (Rn)5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	237 <b>Np</b> Neptunio (Rn)5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	237 <b>Pu</b> Plutonio (Rn)5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup>	243 <b>Am</b> Americio (Rn)5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>	247 <b>Cm</b> Curio (Rn)5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	249 <b>Cf</b> Californio (Rn)5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup>	254 <b>Es</b> Einstenio (Rn)5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup>	253 <b>Fm</b> Fermio (Rn)5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup>	256 <b>Md</b> Mendelevio (Rn)5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup>	254 <b>No</b> Nobelio (Rn)5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup>	257 <b>Lr</b> Laurencio (Rn)5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>										

LANTÁNIDOS

ACTÍNIDOS

## Insuficiencias de la tabla periódica

Las primeras versiones de la tabla periódica presentaban ciertas insuficiencias, de las que incluso algunas persisten en las versiones más actuales.

\* Aunque inicialmente el criterio para ordenar los elementos fue el orden creciente de sus masas atómicas, había casos, como el del yodo y el telurio, en que se alteraba el orden para que se mantuviesen en el grupo de los elementos con propiedades más parecidas a ellos.

\* Había ciertos saltos en las propiedades que decidieron a Mendeleiev a dejar huecos que se suponía que correspondían a algún elemento no conocido entonces.

\* La colocación del hidrógeno no estaba clara pues podía ponerse tanto en el grupo del sodio como en el del flúor, si bien sus propiedades no son parecidas a los otros elementos de esos grupos.

\* La colocación de algunos elementos conocidos como «tierras raras» queda fuera del esquema general de la tabla periódica.

\* Los gases nobles, caracterizados por su escasa capacidad para reaccionar con otros elementos, se colocan entre dos grupos, los halógenos y los alcalinos, que incluyen a los elementos más reactivos de la tabla periódica.

Los gases nobles no estaban en la primera versión de la tabla periódica ya que se identificaron entre 1892 y 1900. Como no se podían colocar en ninguno de los grupos establecidos hasta entonces, se llegó a la conclusión de que eran los constituyentes de un nuevo grupo completo.

## Méritos de la tabla periódica

Las ventajas de la tabla periódica eran muy grandes pues, además del gran avance que suponía disponer de una clasificación lógica de todos los elementos conocidos, establecía la ley periódica, sin duda una gran aportación ya que:

a) Proporcionaba un **criterio para ordenar los elementos**, que para Mendeleiev era de tal fiabilidad que incluso alteró el orden que correspondía a algunos según sus masas atómicas con tal de conseguir que en un mismo grupo estuviesen elementos con propiedades químicas parecidas (caso del yodo y el telurio). Con esto se rompía también con la antigua idea de que la masa era decisiva para diferenciar unos átomos de otros.

b) Permitió **predecir la existencia de sustancias simples** hasta entonces desconocidas y hacer una estimación de sus propiedades. Se predijo la existencia del galio (Ga), al que se le llamó eka-aluminio que significa el primero por debajo del aluminio. El galio fue descubierto en 1875, y sus propiedades coincidieron con las previstas. En ciencia, el hecho de que con una teoría se hagan predicciones que luego resultan ciertas constituye un éxito indudable, por lo que esos descubrimientos, junto con el del germanio y el escandio (a los que se había llamado eka-silicio y eka-boro) supusieron un gran respaldo para los trabajos de Mendeleiev y Meyer.

c) La ley periódica, con esa variación progresiva de las propiedades a lo largo de un período y el cambio brusco de las mismas al pasar al período siguiente, con la semejanza en las propiedades de elementos situados en el mismo grupo, etc., nos hace pensar en la complejidad de los átomos y en que hay «algo en su interior» que añadido a un átomo de un elemento puede suponer una variación en sus propiedades. Por tanto, la ley periódica cumplía otro de los requisitos que en ciencia se plantean para darle cierta importancia a las ideas o teorías nuevas: **generaba nuevas preguntas**, con lo que abría y orientaba nue-



1.4

Hay gran cantidad de información sobre la tabla periódica, la vida de Mendeleiev, etc. Especialmente interesante es la conexión a tablas periódicas que hay en la red.

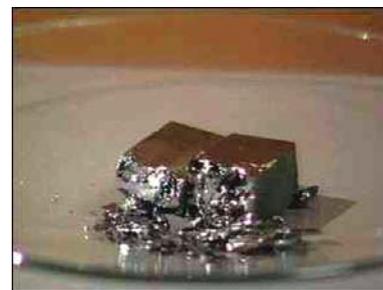


1.5

Excelente tabla con gran cantidad de datos de los elementos. Podemos encontrar datos sobre radio atómico, electronegatividad, espectros de emisión, configuración electrónica, etc.



Galio



Germanio

	Ekasilicio	Germanio
Masa atómica	72	72,3
Densidad	5,5	5,47
Volumen atómico	13	13,2
Calor específico	0,073	0,076
Fórmula del óxido	EsO <sub>2</sub>	GeO <sub>2</sub>

Valores predichos por Mendeleiev y valores medidos para algunas propiedades del germanio.

vos campos de investigación. Las preguntas que podíamos hacernos a partir de ahora son del estilo de las siguientes:

\* ¿A qué se debe esa periodicidad en las propiedades?

\* ¿Por qué hay un cambio tan brusco de propiedades al pasar del cloro al argón y de éste al potasio?

\* ¿Por qué elementos con masas atómicas tan parecidas tienen propiedades tan diferentes?

\* ¿Por qué los elementos situados en un mismo grupo tienen propiedades semejantes? ¿Qué tienen en común?

Estas preguntas no encontraron respuesta hasta que se propusieron nuevos modelos atómicos, precisamente los que vamos a estudiar a continuación, por lo que dejaremos aquí el estudio de la tabla periódica y volveremos a ella más tarde, cuando ya conozcamos esos modelos.

**A.25.-** a) Indica algunas de las «insuficiencias» de la tabla de Mendeleiev.  
b) ¿Qué ventajas supuso la tabla periódica?

## 5

# DEL ÁTOMO DE DALTON AL ÁTOMO ACTUAL

Si el siglo XIX comenzó con la propuesta del modelo atómico de Dalton, a lo largo del mismo se estudiaron una serie de fenómenos que pusieron de manifiesto lo inadecuado de suponer que el átomo era indivisible.

## Algunas experiencias plantearon la necesidad de que el átomo fuese divisible

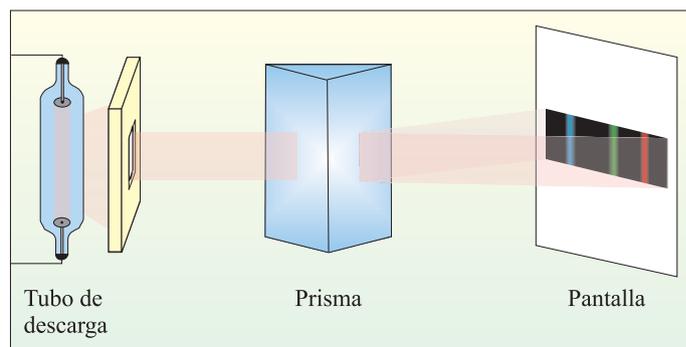
Algunas de las aportaciones más importantes que llevaron a los científicos de finales del siglo XIX a suponer que los átomos tenían una estructura compleja fueron:

\* **Experiencias relacionadas con fenómenos eléctricos.** El desarrollo de la electricidad en esta época fue enorme. Las experiencias de Faraday relacionadas con la electrólisis, realizadas en torno a 1830, no se podían explicar con un modelo que concibe los átomos como bolitas indivisibles, por lo que se pensó en la necesidad de un modelo de átomo más complejo que pudiera explicar la naturaleza eléctrica de la materia.

**P** \* **Experiencias en tubos de descarga con gases a baja presión: espectros de emisión.** Iniciadas por Crookes a partir de 1870, consistían en someter a voltajes muy elevados pequeñas cantidades de gas encerradas en un tubo de manera que la presión del gas fuese muy baja (sobre  $10^{-2}$  atm). Si a presiones normales los gases no son conductores, en tales condiciones cualquier gas emite luz de un color determinado. Si se pasa esta luz por un prisma se descompone en distintos colores que se pueden observar en una pantalla o en una fotografía que constituye lo que llamamos el **espectro atómico de emisión** del elemento gaseoso que emite luz. Cada gas produce un espectro característico con el que se le puede identificar. La obtención del espectro mediante descargas eléctricas llevó

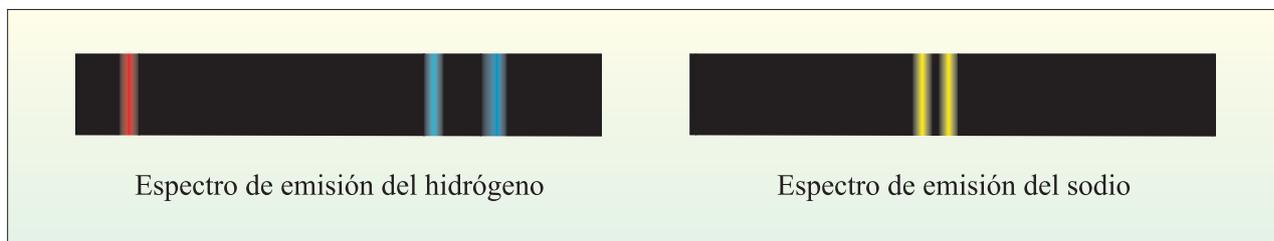


Tubos de descarga



Dispersión de la luz

a pensar que el mismo fuese imagen o consecuencia de una cierta organización interior en el átomo (con lo que se afianzaba también la idea de que el átomo no era indivisible).



Los diferentes colores que puede tener la luz se caracterizan por dos magnitudes relacionadas entre sí, la frecuencia o la longitud de onda. En el año 1885, Balmer encontró de forma empírica una fórmula que permitía relacionar las longitudes de onda que corresponden a cada una de las rayas que forma el espectro de emisión del gas hidrógeno. Esa fórmula es la siguiente, en la que  $\lambda$  es la longitud de onda de una de las rayas y  $n_1$  y  $n_2$  son números enteros pequeños, 1, 2, 3, 4, 5... Dándole valores a  $n_1$  y  $n_2$  se obtienen las longitudes de onda de las diferentes rayas del espectro de hidrógeno.

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^7 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Cuando se propuso esa expresión no se tenía una justificación teórica de la misma. Pero el hecho de que una serie de datos experimentales se pudiesen ajustar a una ecuación invitaba a encontrar una explicación en función de alguna teoría sobre la estructura del átomo.

La longitud de onda y la frecuencia de una onda se relacionan a través de la velocidad de la onda. En el caso de la luz se trataría de la velocidad de la luz ( $c$ ), aproximadamente  $3 \cdot 10^8$  m/s.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

P

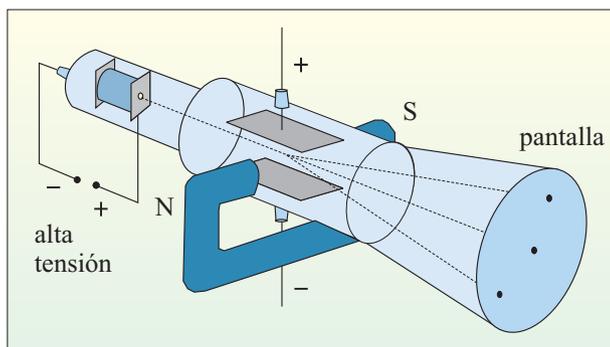
\* **Descubrimiento de los rayos catódicos.** Si en el tubo de descarga se hace un vacío muy grande, es decir, si se consigue que la presión en su interior sea muy baja (del orden de  $10^{-4}$  o  $10^{-5}$  atm), llega un momento en que la luz desaparece y se nota una fluorescencia muy débil en la parte opuesta al cátodo (el polo negativo). Esta fluorescencia se supuso que era debida a una radiación que partía del cátodo, por lo que se conoció con el nombre de **rayos catódicos**. Una vez descubiertos, se empezó a estudiar su comportamiento tratando de identificar su naturaleza y procedencia. En experiencias diversas se pudo comprobar que los rayos catódicos:

- a) No dependen del tipo de gas encerrado en el tubo.
- b) Son atraídos por cuerpos cargados positivamente o se desvían hacia el polo positivo cuando se someten a la acción de un campo eléctrico.
- c) Pueden desviarse por la acción de un campo magnético (por ejemplo, cuando se les acerca un imán).
- d) Provocan la aparición de una sombra cuando se interpone un objeto en su camino.
- e) Pueden poner al rojo una lámina de mica que se interponga en su camino.



## 1.6

Espectros de emisión de todos los elementos de la tabla periódica.



Tubo de rayos catódicos



Sombra producida por rayos catódicos y un obstáculo con forma de cruz en un tubo de descarga.

**A.26.-** Con los datos proporcionados en la información anterior ¿puedes decir algo sobre las características de los rayos catódicos, si son o no partículas, si crees que tienen esa propiedad que llamamos carga eléctrica...? ¿En qué parte de la información te basas para contestar? ¿Crees que esto puede alterar en algo el modelo de átomo que hemos manejado hasta ahora?

De éstas y otras muchas experiencias se llegó a la conclusión de que los rayos catódicos estaban constituidos por partículas cargadas negativamente y que todas esas partículas eran idénticas, sin depender del gas que hubiera en el tubo o del material del que estuviesen hechos los electrodos. A esas partículas se les llamó **electrones** y fueron identificados por J. J. Thomson, importante científico inglés, maestro de otros muchos notables científicos de principios del siglo XX. Posteriormente se pudo determinar la masa y la carga del electrón.

La idea de que estos electrones procedían de los propios átomos rompía con la indivisibilidad de los mismos que propuso Dalton y planteaba otras preguntas. Si el átomo no es indivisible ¿cómo es «por dentro»? Si se considera que es eléctricamente neutro y hemos visto que en su interior hay carga eléctrica negativa ¿tendrá que haber también carga positiva? Poco después, en 1886, Goldstein identificó otra radiación, a la que llamó **rayos canales** o **positivos** que eran diferentes según el gas encerrado en el tubo. Cuando era hidrógeno el gas encerrado, los rayos estaban constituidos por partículas con carga positiva, a las que se llamó **protones**, cuyas características junto a las de los electrones están recogidas en la tabla adjunta.

La carga del protón tiene el mismo valor absoluto que la del electrón, aunque son de distinto signo. Sin embargo, la masa del protón es mucho mayor que la del electrón (unas 1840 veces).



Joseph John Thomson (1856-1940)

	Masa (kg)	Carga (C)
<b>Electrón</b>	$9,1 \cdot 10^{-31}$	$-1,602 \cdot 10^{-19}$
<b>Protón</b>	$1,673 \cdot 10^{-27}$	$+1,602 \cdot 10^{-19}$

**A.27.-** El átomo más pequeño conocido es el de hidrógeno, cuya masa es aproximadamente 1840 veces mayor que la del electrón. ¿Sería correcto decir, como Dalton, que el átomo es indivisible? ¿Cómo piensas que podría estar formado un átomo de hidrógeno?

\* **El descubrimiento de la radiactividad.** Fenómeno identificado en sales de uranio en 1896 por Henri Becquerel y estudiado en una primera etapa por los esposos Curie. Consiste en la emisión espontánea y continua de radiaciones por elementos pesados como el uranio o el radio. Aunque la explicación completa de la radiactividad no llegó hasta los años 30 del s. XX, ya a principios de ese siglo se pensaba que las radiaciones emitidas por las sustancias radiactivas procedían «del interior» del átomo más que de su parte externa, lo que se veía reforzado por la imposibilidad de «quitarle» las propiedades radiactivas a cualquier elemento mediante ninguna reacción química.

Analizadas las radiaciones se encontraron tres tipos distintos a los que se llamó alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ). Ernest Rutherford comprobó que las radiaciones  $\alpha$  eran en realidad partículas con una carga eléctrica positiva doble que la del protón y masa cuatro veces mayor. Actualmente las partículas  $\alpha$  se considera que son núcleos de helio. También las radiaciones  $\beta$  eran partículas y sus propiedades coincidían con las del electrón por lo que se identificaron como tales. La radiación  $\gamma$  parecía ser una radiación electromagnética de alta energía.



Henri Becquerel (1852-1908)

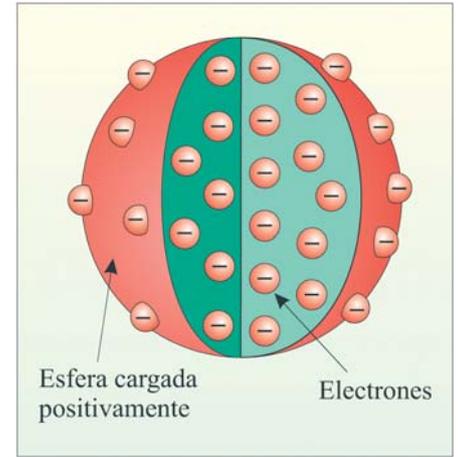
## 5.1 Modelo atómico de Thomson

Fenómenos como los anteriores, y otros muchos, contribuyeron a que la indivisibilidad del átomo, propuesta por Dalton fuese abandonada y empezaran a buscarse

modelos para explicar cómo estaban constituidos los propios átomos, las partículas que los formaban, de qué forma se organizaban, etc. El primer modelo fue propuesto por J.J. Thomson (1904). Con él intentaba justificar el hecho de que la materia es eléctricamente neutra y que los electrones pueden extraerse de los átomos, pero no así las cargas positivas.

Propuso un modelo de átomo como una esfera fluida con carga positiva y prácticamente toda la masa del átomo (dada la poca masa del electrón en comparación con la de los átomos) y suponiendo que había un cierto número de electrones distribuidos uniformemente dentro de esa masa de carga positiva (como una especie de pastel o calabaza en la que los electrones estuviesen incrustados como si fuesen trocitos de fruta o pepitas).

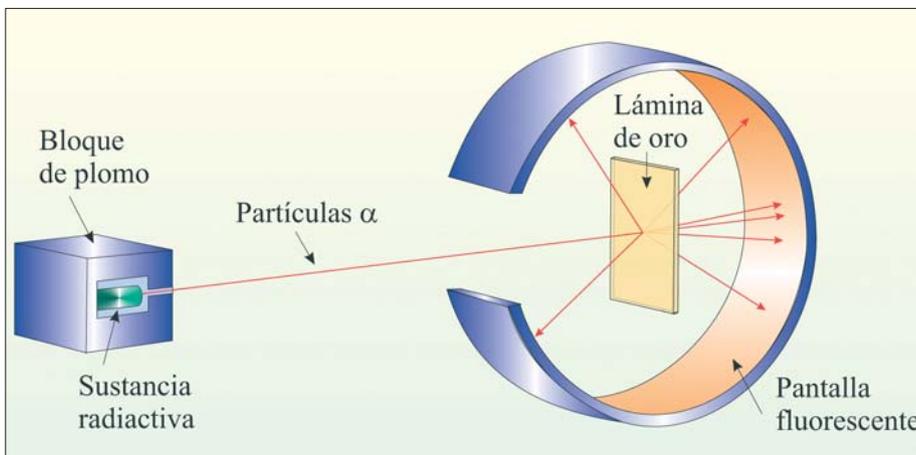
Con el modelo de Thomson se podía explicar la emisión de luz por vibraciones de los electrones cuando se sometía un gas a altas temperaturas. También explicaba la electrización positiva o negativa por pérdidas o ganancias de electrones.



**Modelo atómico de Thomson**

## 5.2 Modelo atómico de Rutherford

Con el fin de obtener información de la organización interna de los átomos, Rutherford pensó en la posibilidad de estudiar las desviaciones que experimentaría un chorro de partículas alfa después de atravesar una fina lámina de metal. Los resultados de estas experiencias hicieron necesaria una revisión del modelo atómico de Thomson.



**Experiencia de Rutherford**

Utilizó el dispositivo esquematizado en la figura. Las partículas alfa las obtenía a partir de algunas sustancias radiactivas que colocaba dentro de una caja de plomo en cuyas paredes había un pequeño orificio, produciendo así un «chorro» de partículas  $\alpha$ , muy fino y con mucha energía, que dirigía contra láminas delgadas de oro. Si detrás de la lámina colocamos una pantalla de alguna sustancia fluorescente (como el sulfuro de cinc) que nos indique en qué punto impactan las partículas después de atravesar la lámina (al incidir esas partículas en la pantalla provocan un centelleo), podremos hacernos también una idea de si estas partículas se han desviado o no y cuánto, qué porcentaje de partículas no han conseguido atravesar la lámina, etc., y así podemos hacer hipótesis sobre la constitución interna de la lámina.

Los principales hechos que pudo observar en sus investigaciones fueron:

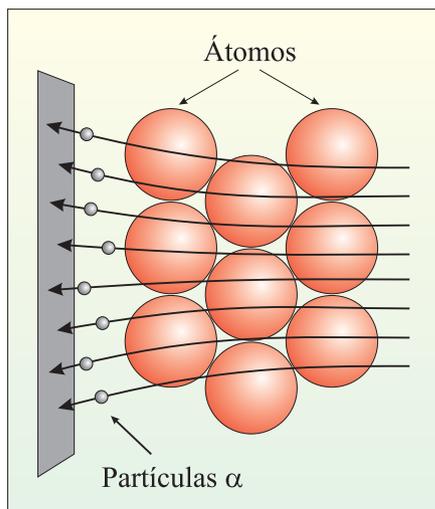
- La gran mayoría de las partículas alfa no experimentaban ninguna desviación.
- Algunas partículas, un porcentaje bastante reducido, se desviaban con un ángulo más o menos acusado.
- Algunas, muy pocas, retrocedían, como si hubiesen rebotado.



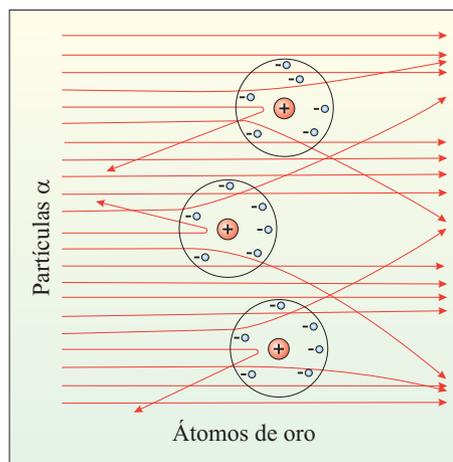
**1.7**

Explica lo que esperaba encontrar Rutherford según el modelo de Thomson, cuáles fueron los resultados que obtuvo y qué modelo propuso. Está en inglés.

Este último fue un resultado sorprendente. En palabras de Geiger, ayudante de Rutherford: *¡Hemos logrado obtener el retroceso de algunas partículas alfa..! Es lo más increíble que me ha sucedido en mi vida... Casi tan increíble como si usted disparase con una bala de quince pulgadas contra un papel de seda y el proyectil se volviese contra usted.*



Dispersión de partículas  $\alpha$  esperada con el modelo de Thomson.



Modelo atómico de Rutherford y dispersión de partículas  $\alpha$ .

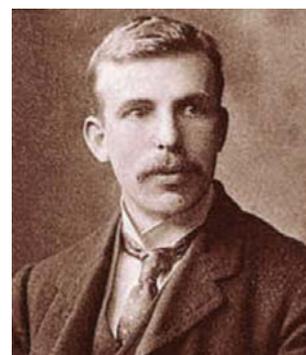
Rutherford estudió los datos y pensó que el retroceso debía ser el resultado de una simple colisión, y vio que era imposible obtener aquel orden de magnitud, a no ser que se considerase un sistema en el que la mayor parte de la materia se encontrara concentrada en un pequeño núcleo con toda la carga positiva para poder explicar las grandes desviaciones que sufrían algunas partículas  $\alpha$ .

Rutherford propuso el siguiente modelo para la estructura del átomo:

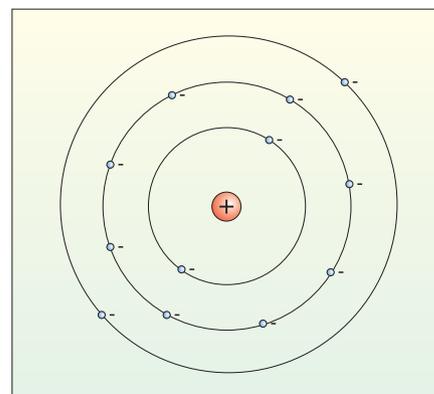
- \* El átomo está constituido por una zona central, a la que se llama **núcleo**, en la que se encuentra concentrada toda su carga positiva y casi toda su masa.
- \* Hay otra zona exterior del átomo, la **corteza**, en la que se encuentra toda la carga negativa y cuya masa es muy pequeña en comparación con la del átomo. La corteza está formada por los electrones que tenga el átomo.
- \* Los electrones están moviéndose a gran velocidad en torno al núcleo.
- \* El tamaño del núcleo es muy pequeño en comparación con el del átomo.

Incluso hizo estimaciones sobre el radio del núcleo, que consideraba unas 100000 veces menor que el del átomo. Esta imagen de átomo, análoga a la de un sistema solar, en la que los electrones se movían alrededor del núcleo con velocidades relativamente grandes, simplificó y orientó enormemente los trabajos que hasta entonces se realizaban sobre la estructura atómica, por lo que su importancia es innegable. A partir de esta imagen se pudieron separar los fenómenos de los que se hacía responsable al átomo: los electrones de la corteza estarían relacionados con el comportamiento químico, con los fenómenos eléctricos o con la emisión de luz y los espectros atómicos, mientras que el núcleo podría explicar los fenómenos radiactivos.

Trabajos posteriores establecieron el radio del átomo en torno a  $10^{-10}$  m unidad que se conoce con el nombre de angstrom ( $\text{\AA}$ ). El tamaño del núcleo se calculó que era del orden de  $10^{-15}$  m, unidad a la que se llamó fermi (fm).



Ernest Rutherford (1871-1937)



#### Equivalencias

- 1  $\text{\AA}$  (angstrom) =  $10^{-10}$  m
- 1 fm (fermi) =  $10^{-15}$  m

**A.28.-** A partir de las experiencias de dispersión de partículas  $\alpha$  Rutherford idea su modelo atómico. ¿Podrías explicar cómo justificaba Rutherford con su modelo los resultados de estas experiencias?

## 5.3 El modelo de Bohr

El modelo de Rutherford tenía diversos problemas. Quizá el más importante era que los átomos deberían destruirse por sí mismos, ya que los electrones al girar alrededor del núcleo emitirían energía y caerían al núcleo. Eso era lo que predecía la teoría electromagnética vigente a finales del siglo XIX. Además, con el modelo de Rutherford no se podían explicar los espectros atómicos de emisión.

Niels Bohr incorporó algunas ideas de una teoría que se estaba desarrollando por aquellos años, la mecánica cuántica. Admitió que los electrones giraban en trayectorias circulares alrededor del núcleo, pero introdujo algunas condiciones que debían cumplir. Esas condiciones las introdujo como postulados, es decir, sin demostración previa. A partir de ellos logró explicar los espectros de emisión del hidrógeno.

a) El radio de la órbita en la que gira un electrón sólo puede tomar algunos valores, pero no puede tomar cualquier valor.

b) Como consecuencia de lo anterior, la energía que puede tener un electrón sólo puede tomar determinados valores, la que corresponde a cada una de las órbitas posibles.

c) Cuando un electrón gira en una de esas órbitas no pierde energía (aunque eso estaba en contra de la teoría vigente en aquella época), siendo por lo tanto el átomo estable.

d) Un electrón pasa de una órbita de menor energía a otra de mayor energía sólo cuando absorbe la cantidad justa de energía, igual a la diferencia de energía que tiene en ambas órbitas. Esto ocurre cuando le proporcionamos energía al hidrógeno (calentándolo, sometiéndolo a un voltaje elevado, etc.).

De igual manera, cuando el electrón pasa de una órbita de mayor energía a otra de menor energía, pierde justo la diferencia de energía entre ambos niveles. Como consecuencia de la pérdida de energía del electrón se produce la emisión de luz cuya frecuencia o color será la que corresponda a esta cantidad de energía.



Niels Bohr y Albert Einstein

Los postulados de Bohr se enunciaban de forma algo diferente a como lo hacemos aquí. Se referían a algunas magnitudes, como el momento cinético, que aún no hemos estudiado. En Química de 2º Bachillerato se estudia con más detenimiento el modelo de Bohr.



Algunas de las órbitas posibles para el electrón en el átomo de hidrógeno



Violeta    Azul    Verde    Rojo

Luz roja: el electrón pasa de la órbita 3 a la 2  
Luz verde: el electrón pasa de la órbita 4 a la 2  
Luz azul: el electrón pasa de la órbita 5 a la 2  
Luz violeta: el electrón pasa de la órbita 6 a la 2

El modelo de Bohr tuvo mucho éxito pues no sólo podía explicar cualitativamente los espectros de emisión del átomo de hidrógeno, sino que también

coincidían los cálculos que se hacían usando el modelo, con los valores experimentales que se obtenían para las longitudes de onda de las rayas de los espectros de emisión del hidrógeno, a partir de la fórmula de Balmer.

**A.29.-** a) ¿Qué diferencia fundamental hay entre el modelo de Rutherford y el modelo de Bohr?

b) Se dice que la energía del electrón cuando está en las diferentes órbitas posibles está cuantizada. ¿Qué crees que se quiere decir con esa expresión?

c) ¿Cómo se podría explicar el espectro de emisión del hidrógeno a partir de las ideas de Bohr? ¿Qué quiere decir que el modelo de Bohr explicaba cuantitativamente los espectros?

El modelo de Bohr tuvo que ser modificado pues no podía explicar los espectros de átomos diferentes al hidrógeno. El próximo curso podrás hacer un estudio más profundo de los modelos que se proponen para el átomo.



1.8

Presenta una simulación de cómo se obtienen los espectros de emisión de los diferentes elementos, y además incluye una interpretación a partir de los saltos de los electrones entre los niveles atómicos.



1.9

Pueden observarse los saltos entre los distintos niveles de energía previstos en el átomo de Bohr y las correspondientes rayas en los espectros de emisión.



1.10

Puedes bajarte un programa en el que se simula lo que le sucede al electrón del átomo de hidrógeno cuando comunicamos energía radiante y lo que sucede cuando el electrón pasa de un nivel superior a otro inferior.

## 5.4 Revisión global sobre la estructura del átomo

Las ideas actuales sobre la estructura del átomo están basadas en la llamada mecánica cuántica. Su complejidad hace totalmente inviable que podamos avanzar en ese camino.

En este apartado, revisaremos las ideas fundamentales que utilizaremos sobre el átomo, distinguiendo entre lo que tiene relación con el núcleo de lo que tiene relación con la corteza.

### Sobre la constitución del núcleo. Números atómico y másico

El núcleo está formado por dos tipos de partículas: los **protones** que ya conocemos, con carga positiva, y los **neutrones**, identificados en 1932 por Chadwick, que son partículas sin carga y con masa semejante a la del protón.

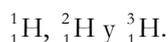
Lo que caracteriza al átomo de un elemento determinado es el número de protones que hay en su núcleo, lo que hoy se llama **número atómico (Z)**. Los trabajos de Moseley (1887-1915) realizados en torno a 1913 dieron una gran importancia al significado del número atómico, como veremos cuando volvamos a estudiar la tabla periódica de los elementos.

Se llama **número másico (A)** a la suma del número de protones más el de neutrones que hay en el núcleo. Si llamamos  $N$  al número de neutrones, podemos escribir:

$$A = Z + N$$

Los **isótopos** son átomos con el mismo número atómico, pero con distinto número másico. Son por tanto átomos que, en su núcleo, tienen el mismo número de protones pero distinto número de neutrones. Pertenecen, por ello, al mismo elemento químico.

Para representar un isótopo se escribe su símbolo indicando sus números másico y atómico. Los números se colocan a la izquierda del símbolo:  ${}^A_ZX$ . Por ejemplo existen tres isótopos del hidrógeno que se suelen llamar hidrógeno, hidrógeno pesado o deuterio y tritio:



La existencia de los isótopos permitió justificar el hecho de que algunos elementos tuviesen masas atómicas decimales, cuyos valores no podían achacarse exclusivamente a la masa de los electrones, sino a la presencia en las muestras naturales de isótopos distintos.



**A.30.-** Un isótopo del cloro tiene de número atómico 17 y de número másico 35, ¿cuántos protones, neutrones y electrones tiene cuando está en su estado neutro?

Otro isótopo del cloro tiene 20 neutrones en su núcleo. ¿Cuál es su número atómico? ¿Y su número másico?

P

**A.31.-** Completa el siguiente cuadro suponiendo que nos referimos siempre a átomos neutros. Entre ellos hay algunos átomos que son isótopos de otros que aparecen en la tabla, ¿cuáles pueden ser?

Átomo	1	2	3	4	5	6
Número atómico, Z	20			29	19	
Número másico, A		63			39	
Número de electrones			9			
Número de protones		29				20
Número de neutrones	20		9	36		22

Como conclusión, resumimos en la información que sigue todo lo anterior:

\* Todos los átomos de un mismo elemento tienen el mismo número de protones, es decir, tienen el mismo número atómico. Sin embargo pueden tener diferente número de neutrones lo que da lugar a los isótopos del mismo elemento.

\* En un átomo neutro, el número de electrones que constituyen su corteza es igual al número de protones que forman parte del núcleo.

El que todos los átomos estuvieran formados por los tres tipos de partículas, así como la posibilidad de conocer el número de átomos o moléculas que constituyen una cierta cantidad de una determinada sustancia, hizo que se pensara en definir unidades de masa que se ajustaran más a los cálculos relativos a átomos o partículas atómicas. La tabla recoge la masa y carga de las tres partículas fundamentales expresadas en unidades del SI.

Partícula	Masa (kg)	Carga (C)
Protón	$1,673 \cdot 10^{-27}$	$+1,602 \cdot 10^{-19}$
Neutrón	$1,673 \cdot 10^{-27}$	0
Electrón	$9,1 \cdot 10^{-31}$	$-1,602 \cdot 10^{-19}$

Son valores muy pequeños e incómodos de manejar. Por ello, se propuso otro sistema de unidades, **el sistema atómico de unidades**, tomando como unidad de masa la del protón, a la que se llamó **unidad de masa atómica (u)**. Como unidad de carga se tomó también la del protón y se le llamó **carga elemental (e)**.

P

**A.32.-** a) Escribe en el sistema atómico de unidades la masa y carga del protón, neutrón y electrón.

b) Expresa en kilogramos la masa de un átomo de calcio. ¿Cuántos electrones necesitamos para reunir entre todos una carga de  $-2 \mu\text{C}$ ?

## La corteza: distribución de electrones en niveles energéticos

Llamamos corteza a la zona en la que se mueven los electrones en torno al núcleo. Los electrones tienen energía cinética, por el hecho de estar moviéndose, y energía potencial eléctrica como consecuencia de las atracciones entre los protones del núcleo y los electrones, así como de las fuerzas de repulsión entre ellos. La energía total de cada electrón será la suma de la que tenga por cada uno de esos conceptos.

El valor de la energía que puede tener cada electrón está **cuantizado**. Esto quiere decir que la energía del electrón no puede tomar cualquier valor, sino que **sólo existen algunos valores permitidos**. Estos valores permitidos se agrupan en los llamados **niveles de energía**. Los niveles más bajos se corresponden con los electrones más internos, los más fuertemente atraídos por el núcleo.

P

Estos niveles se dividen en **subniveles de energía**, siendo los más importantes los cuatro primeros que se representan con las letras **s, p, d** y **f**. En el subnivel **s** existen dos valores permitidos de energía, 6 en el subnivel **p**, 10 en el **d** y 14 en el **f**. Según las ideas actuales sobre el átomo, los valores anteriores coinciden con el número máximo de electrones en cada subnivel.

Los electrones están distribuidos en el átomo de forma que tengan la menor energía posible. La **configuración electrónica** de un átomo muestra la distribución por subniveles de energía de los electrones de ese átomo. Para escribirla se indican los niveles y subniveles de energía con supraíndices que representan al número de electrones en ellos. Por ejemplo, el cloro tiene de número atómico 17, por lo que le corresponde en su estado neutro 17 electrones y su configuración electrónica sería:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ . Los números indican el nivel de energía, las letras los subniveles y los supraíndices el número de electrones, y se ha seguido el orden ascendente de energía tal como indican las figuras de la derecha.

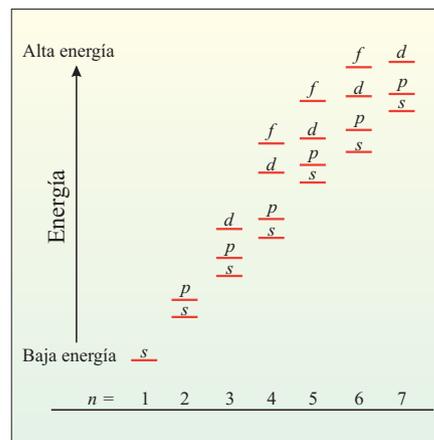
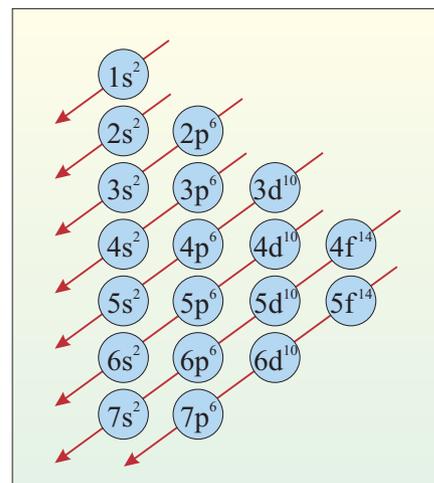


Diagrama de energía de los subniveles

P

- A.33.-** a) ¿Qué quiere decir que la energía de los electrones está cuantizada?  
 b) Escribe la configuración electrónica de los siguientes átomos: H, He, Ne, O y Na.

Cuando un electrón recibe energía del exterior, pasa a un nivel de energía superior y a continuación vuelve espontáneamente a estados inferiores de energía donde es más estable. La diferencia de energía entre el nivel superior y el inferior la emite el átomo en forma de luz y es la que los espectroscopistas dispersaron para obtener el espectro de emisión de los gases. Puesto que la energía está cuantizada, es decir, sólo existen para cada átomo unos determinados valores posibles, la diferencia entre estos distintos valores es siempre la misma para cada elemento. El color de la luz emitida está relacionado con ese valor de la energía. Por lo tanto, la luz emitida es de unos colores definidos y se ven determinadas rayas en los espectros atómicos.



Orden ascendente de los valores de energía de los distintos niveles y subniveles.

### Relación entre la tabla periódica y la estructura de los átomos

Es lógico pensar que las propiedades químicas de un elemento se relacionan con la disposición de sus electrones y más concretamente con sus electrones más externos que son los que intervendrán principalmente en los posibles enlaces que se formen. Estos electrones son los que tienen más energía y, por lo tanto, son los que estarán en el último nivel energético.

P

Cuando se conoció bien la estructura de los átomos se comprobó que existía bastante relación entre esa estructura y la posición que ocupa ese elemento en la tabla periódica. Algunos de los puntos más importantes son:

\* **El número atómico coincide con el número de orden de los elementos en la tabla periódica.** Esto contribuyó al reconocimiento de la misma, al comprobarse que ese número, que en principio no tenía ningún significado especial, coincidía con el número atómico, es decir, con el número de protones que hay en el núcleo de un átomo y que constituye el criterio para identificar si diferentes átomos podían considerarse o no de un mismo elemento.

\* **Los átomos de los elementos situados en un mismo grupo o familia de la tabla periódica tienen el mismo número de electrones en su nivel energético más externo.** Eso explica que tengan propiedades químicas muy parecidas. En el caso de los elementos representativos el número de electrones en el último nivel coincide con la cifra que expresa las unidades en el número del grupo. Por ejemplo, el

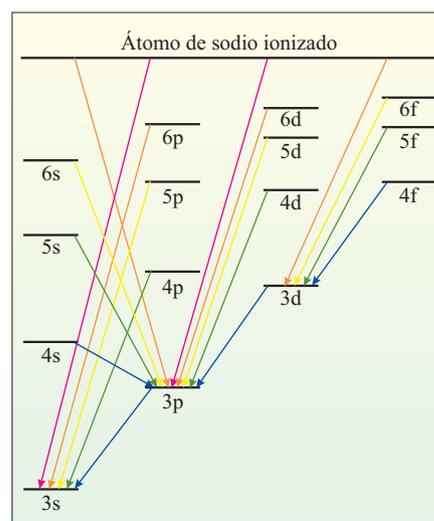
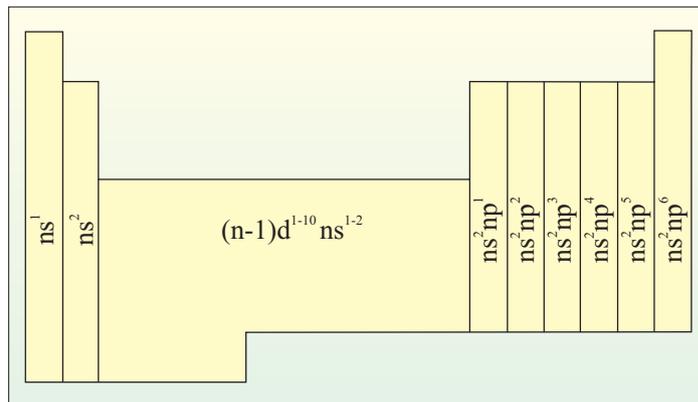


Diagrama de niveles de energía para el sodio y saltos electrónicos desde niveles superiores a otros inferiores que originan su espectro.

calcio que forma parte del grupo 2 tiene dos electrones en su último nivel, mientras que el nitrógeno que forma parte del grupo 15, tiene cinco electrones en su último nivel. Los gases nobles son el grupo 18 y tienen ocho electrones en su último nivel.

Los elementos de transición tienen generalmente, dos electrones en su último nivel (hay algunos que sólo tienen uno).

\* **Los átomos de elementos situados en un mismo período de la tabla periódica tienen ocupados el mismo número de niveles energéticos.** Así el calcio, que está en el período 4<sup>o</sup>, tiene cuatro niveles energéticos en los que están distribuidos todos los electrones, mientras que el nitrógeno, que está en el período 2<sup>o</sup>, distribuye todos sus electrones en sólo dos niveles.



Distribución electrónica en los últimos niveles de los grupos de la tabla periódica.



1.11

La tabla periódica se puede bajar y utilizar online. Da la tabla y la configuración electrónica de los elementos.

P

**A.34.-** Escribe la configuración electrónica de los elementos de la familia de los alcalinos, los halógenos y los gases nobles. ¿Justifica el que los elementos de cada grupo tengan parecidas propiedades químicas?

### La regla del octeto

Los átomos de los gases nobles tienen ocho electrones en su último nivel energético (excepto el helio que sólo tiene dos). Forman las sustancias simples menos reactivas que se conocen (no reaccionan salvo en condiciones excepcionales). Los científicos pensaron que su estructura electrónica era especialmente estable y que los átomos de los demás elementos se combinarían consigo mismo o con otros átomos para alcanzar esa estructura electrónica. Esto lo pueden hacer ganando, perdiendo o compartiendo electrones hasta tener ocho electrones en su último nivel.

La tendencia a alcanzar una estructura electrónica externa semejante a la de un gas noble se conoce como **regla del octeto**.



1.12

Hacer clic en «Estructura electrónica» y a continuación en «Configuración electrónica». Se presenta la configuración electrónica de todos los elementos de la tabla periódica.

P

**A.35.-** ¿Qué diferencias existen entre las estructuras electrónicas de los halógenos y de los alcalinos con respecto a las de los gases nobles? ¿Cómo podría adquirir un átomo de metal alcalino la configuración electrónica externa típica de un gas noble? ¿Cómo podría adquirir un átomo de halógeno la configuración electrónica externa típica de un gas noble?

P

**A.36.-** a) ¿Cuántos electrones y protones tiene un átomo de cada uno de los siguientes elementos: F, K, Br, Mg, Si y O?

b) ¿Cuántos electrones constituyen la capa más externa de cada uno de ellos? ¿Cómo podría adquirir cada uno de ellos la configuración externa típica de un gas noble?

P

Con el modelo actual del átomo es posible explicar fenómenos como los espectros, las experiencias de Rutherford y, sobre todo, el éxito de este modelo estribó en la posibilidad de resolver el problema de la ordenación de los elementos en la tabla periódica, encontrando un criterio aceptado por toda la comunidad científica, explicando esa ordenación, justificando la periodicidad en las propiedades y, en definitiva, contestando satisfactoriamente a muchas de las preguntas que planteamos en apartados anteriores.

# 2

# LA TEORÍA DEL ENLACE QUÍMICO



## IDEAS PRINCIPALES

- Enlace metálico
- Electrólisis
- Enlace iónico
- Iones
- Enlace covalente
- Enlace covalente dativo
- Polaridad
- Fuerzas intermoleculares
- Nomenclatura de compuestos binarios

La teoría atómica nos permite explicar algunas propiedades de los elementos químicos y por qué no todas las sustancias reaccionan con todas las demás, sino sólo con algunas y en una proporción determinada. Sin embargo queda sin explicar por qué hay sustancias que, estando constituidas por los mismos elementos químicos, e incluso en la misma proporción, tienen propiedades químicas diferentes. Lo más razonable es suponer que la manera de unirse esos átomos influye en las propiedades de las sustancias. Surgen así las distintas teorías de enlace químico que trataremos en esta unidad didáctica. Con los contenidos que trabajaremos en ella podremos dar unas primeras respuestas a esas cuestiones y razonar, por ejemplo, por qué hay sustancias que se disuelven en agua o son gases a temperatura ambiente...

## 1

# EL ENLACE: UN MODELO QUE PERMITE EXPLICAR LAS PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS

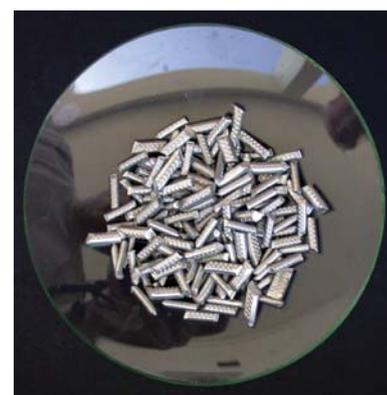
A finales del siglo XIX los científicos disponían de una amplia información sobre las propiedades físicas (dureza, densidad, puntos de fusión y de ebullición, comportamiento al paso de la corriente eléctrica, etc.) y químicas (comportamiento ante otras sustancias). La única posibilidad de tener estos datos de forma que fueran útiles era ordenarlos y usarlos para clasificar sustancias. Los criterios, y por tanto las clasificaciones, podían ser muy diversos, según las propiedades en las que nos fijásemos preferentemente. Una de las que más información nos puede proporcionar es la clasificación de las sustancias según su comportamiento al paso de la corriente eléctrica. Simplificando mucho, podemos clasificar las numerosas sustancias que existen en tres grandes grupos: electrólitos, no electrólitos y metales, algunas de cuyas propiedades resumimos en la tabla siguiente.



Óxido de calcio



Naftaleno



Hierro



## 1.13

Ejercicios de autoevaluación sobre el enlace químico. Corresponde a conceptos estudiados en cursos anteriores por lo que conviene hacerlo al iniciar el estudio de esta unidad.

P

Clase de sustancia	Conductividad en		Puntos de (°C)	
	sólido	líquido/disol.	fusión	ebullición
<b>Electrólitos</b>	<b>NULA</b>	<b>ALTA</b>	<b>ALTO</b>	<b>ALTO</b>
Óxido de calcio, CaO	nula	alta	2580	2850
Cloruro de sodio, NaCl	nula	alta	808	1517
Yoduro de potasio, KI	nula	alta	723	1330
<b>No electrólitos</b>	<b>NULA</b>	<b>NULA</b>	<b>BAJO</b>	<b>BAJO</b>
Agua, H <sub>2</sub> O	nula	muy pequeña	0	100
Tetracloruro de carbono, CCl <sub>4</sub>	nula	nula	23	76,5
Naftaleno, C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	nula	nula	80	218
Sacarosa (azúcar), C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	nula	nula	186	descompone
<b>Metales</b>	<b>ALTA</b>	<b>ALTA</b>	<b>ALTO</b>	<b>ALTO</b>
Aluminio, Al	muy alta	alta	659	2427
Hierro, Fe	muy alta	alta	1539	2740
Calcio, Ca	muy alta	alta	850	1487

Las diferencias observadas en las propiedades de las sustancias no se pueden explicar solamente suponiendo que estén compuestas por átomos de elementos diferentes, puesto que vemos algunas en las que participa el oxígeno, como el dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, que son gaseosas a temperatura ambiente, mientras que otras en las que también interviene el oxígeno, como el óxido de calcio, CaO, son sólidas.

**A.1.-** El etanol y el dimetiléter tienen propiedades diferentes pero la misma composición: C= 52 %, H= 13 % y O= 35 %, por lo que tienen la misma fórmula empírica: C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O. ¿Cómo podemos explicar el que dos sustancias compuestas por los mismos átomos, con la misma fórmula empírica y la misma proporción entre las masas de sus componentes, tengan propiedades químicas diferentes?

Como las diferencias en las propiedades de los compuestos no pueden atribuirse exclusivamente a la clase y proporción de átomos que los forman, tendremos que pensar hipótesis alternativas. Una de ellas es que las propiedades de las sustancias tienen relación con la forma en que se unen entre sí los átomos de los elementos que la constituyen. Ésta es la base de las teorías del enlace químico.

Una teoría debe proporcionar explicaciones razonables para los hechos observados y dar respuesta a las preguntas que puedan surgir en relación con ellos. Con las teorías sobre el enlace químico deberemos dar respuesta a algunas de las preguntas que ya hemos planteado. Por ejemplo:

\* ¿Por qué unas sustancias son buenas conductoras de la corriente eléctrica y otras no?

\* ¿Por qué unas sustancias son sólidas, otras líquidas y otras gaseosas a temperatura ambiente?

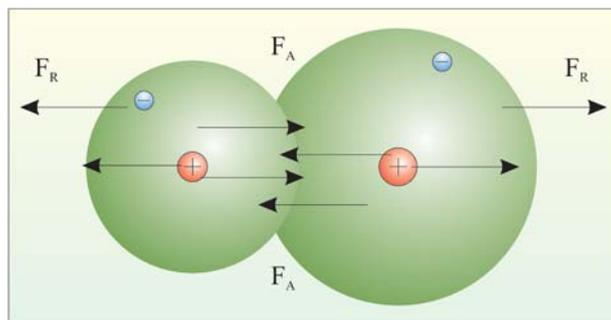
\* ¿Por qué una molécula de agua tiene precisamente dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno y no puede tener una proporción distinta entre el número de átomos de uno y otro elemento?

\* ¿Por qué, en general, unas sustancias tienen propiedades diferentes a otras?

Analicemos las fuerzas que intervienen en un enlace químico. La unión entre átomos es debida a la acción de fuerzas eléctricas. Cuando un átomo se acerca a otro, aparecen fuerzas de atracción entre los protones de uno de los átomos y los electrones del otro que tienden a mantenerlos unidos; pero también aparecen fuerzas de repulsión entre los electrones de ambos átomos y entre los protones de ambos átomos. Los átomos sólo se unirán si las fuerzas atractivas son mayores que las repulsivas.



El cobre conduce, el plástico no



## 2 CON EL ENLACE METÁLICO SE EXPLICAN LAS PROPIEDADES DE LOS METALES

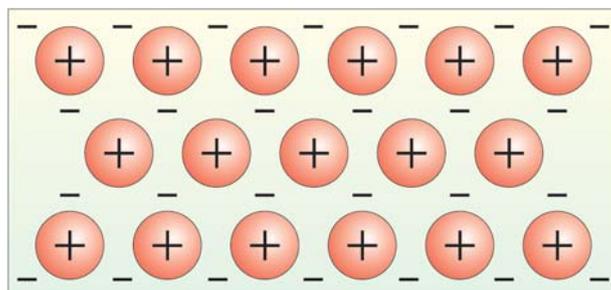
¿Por qué unas sustancias conducen la corriente eléctrica en estado sólido y otras no? ¿Qué tienen de especial esas sustancias que llamamos buenos conductores de la corriente?

**A.2.-** ¿Cuáles son las sustancias que en estado sólido conducen la corriente eléctrica?, ¿qué les ocurre a esas sustancias cuando pasa por ellas la corriente?, ¿experimentan algún cambio físico?, ¿experimentan algún cambio químico?, ¿qué propiedades generales presentan esas sustancias?

Algunas propiedades típicas de los metales son: tienen brillo, conducen bien el calor, a temperatura ambiente son sólidos, excepto el mercurio, se deforman fácilmente sin llegar a romperse, etc. Pero, de todas sus propiedades, la que mejor nos ayudará a imaginar cómo pueden mantenerse unidos los átomos que constituyen un metal es la conductividad eléctrica.

Los metales ocupan la parte izquierda y central de la tabla periódica y se caracterizan porque en su último nivel energético tienen pocos electrones.

Para explicar sus propiedades se ha propuesto un modelo que consiste en suponer la red cristalina metálica formada por cationes (átomos que han perdido los electrones que tienen más alejados del núcleo logrando una configuración más estable). Estos cationes, por ser todos de carga positiva, se repelen, por lo que no contribuyen a enlazar unos átomos con otros. Para explicar la estabilidad de la red cristalina tenemos que fijarnos en los electrones cedidos por esos átomos que forman una nube electrónica, con mucha libertad de movimientos dentro del cristal metálico. Por tan-



to, se mueven entre los huecos de la red, rodeando a los cationes, por lo que todos los elementos de la red quedan unidos por fuerzas eléctricas muy intensas quedando muy cercanos entre sí. Los electrones sueltos no pertenecen a ningún átomo concreto, sino que constituyen una especie de patrimonio común, como si todos perteneciesen por igual y al mismo tiempo a todos los átomos. Por su gran facilidad para moverse y por no pertenecer a ningún átomo en exclusiva se suele decir que esos electrones están **deslocalizados** dentro de la red metálica.

Con un modelo así es lógico pensar que no haya combinaciones de un metal con otro en el sentido que le hemos dado a esta palabra, como proceso que origina la aparición de otra sustancia diferente de composición fija. Lo que puede ocurrir es que algunos átomos de metales distintos a los que constituyen un metal concreto se incluyan en la red (esto será tanto más fácil cuanto más parecidos sean esos átomos a los primeros). Es lo que ocurre en las aleaciones, que son disoluciones en estado sólido.

En los metales no podemos hablar de moléculas. En el modelo que utilizamos se supone que el metal está formado por redes cristalinas constituidas por átomos independientes, todos iguales, en las que no podemos identificar grupos de átomos diferenciados de los demás. Por tal motivo se ha acordado que la fórmula que represente al metal coincida con su símbolo.



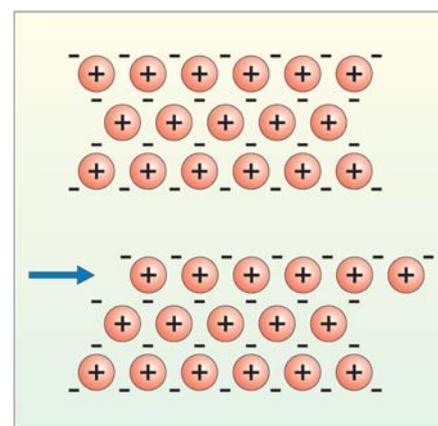
Objetos metálicos

**A.3.-** Según el modelo descrito ¿en qué consistirá cada uno de los cationes que forman un cristal metálico? Imagina que tenemos un cristal de hierro (el número atómico del hierro es 26) y sabemos que cada átomo aporta 2 electrones a ese «fondo común» de electrones que se forma en los metales. ¿Cuántos protones, neutrones y electrones habrá en cada uno de los cationes del cristal de hierro?

**A.4.-** Usando el modelo de enlace metálico que acabamos de describir explica brevemente las siguientes propiedades de los metales:

- Son sólidos de alto punto de fusión y ebullición.
- Tienen elevada densidad.
- Son buenos conductores de la corriente eléctrica.

Otras propiedades típicas de los metales son la ductilidad (facilidad para alargarlos formando hilos que no se rompan) y la maleabilidad (facilidad de formar planchas o moldearlos). Estas características se explican con el modelo de enlace metálico ya que los desplazamientos de los cationes en un cristal metálico no alteran las fuerzas atractivas debidas a los electrones deslocalizados en la red cristalina.



Desplazamiento de una capa metálica sobre otra.

### 3

## LA TEORÍA DEL ENLACE IÓNICO PUEDE EXPLICAR LAS PROPIEDADES DE LOS ELECTRÓLITOS

Los **electrólitos** son sustancias que no conducen la corriente eléctrica cuando se encuentran en estado sólido, pero que sí lo hacen cuando están disueltas o en estado líquido. Tienen puntos de fusión y ebullición altos, su densidad suele ser elevada y sus cristales son quebradizos.

Al contrario de lo que ocurría en los metales, la conducción eléctrica en los electrólitos va acompañada de cambios químicos. **Los electrólitos sufren cambios en su naturaleza cuando pasa por ellos la corriente eléctrica.**

### 3.1 Descripción e interpretación de una electrólisis

En las primeras décadas del siglo XIX se avanzó bastante en la comprensión de la electricidad y se dispuso de generadores de electricidad relativamente fáciles de utilizar (como la pila de Volta). Aprovechando esas posibilidades, Faraday estudió la descomposición de las sustancias en disolución al pasar por ellas la corriente eléctrica, fenómeno al que llamó **electrólisis**, y quizás fue el primero que estudió aspectos cuantitativos relacionados con ella.

Vamos a observar algunas electrólisis y a analizar las transformaciones químicas que ocurren.

P

**A.5.-** a) Comprueba que el montaje experimental que se va a utilizar se corresponde con el que puedes observar en la fotografía.

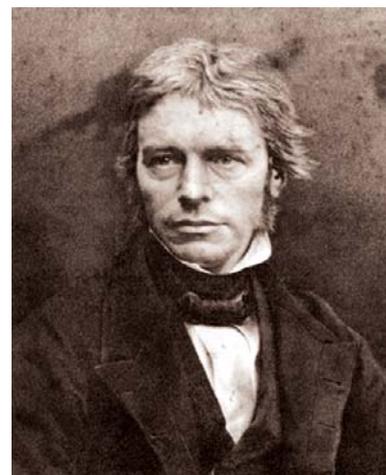
b) ¿Es conductora la sustancia cuando está en estado sólido?, ¿y cuando está disuelta?, ¿cómo hemos comprobado si es o no conductora?

c) Fíjate en el electrodo conectado al polo negativo de la pila, ¿qué le ocurre?, ¿y al que está conectado el polo positivo de la pila?



Faraday llamó **electrólitos** a las sustancias que experimentaban la **electrólisis**, **ánodo** al electrodo positivo, **cátodo** al negativo y **cuba electrolítica** al recipiente en el que tiene lugar la electrólisis. También dio una primera interpretación de lo que ocurría en una electrólisis. Supuso que, cuando se aplica una corriente eléctrica a la disolución (no antes), el electrólito se disocia y da lugar a unas partículas cargadas, a las que llamó **iones**. Estos iones se desplazarían hacia los electrodos que tuviesen carga de signo contrario a la suya, por lo que hacia el cátodo (polo negativo) se desplazarían los **catiónes** o partículas cargadas positivamente, mientras que hacia el ánodo (polo positivo) se desplazarían los **aniones** o partículas cargadas negativamente. Con esta teoría se pudieron explicar muchos de los fenómenos conocidos hasta entonces, pero no el hecho de que hubiese sustancias que experimentasen la electrólisis y otras que no lo hiciesen.

Una interpretación parecida a la actual la dio en 1884 el sueco Arrhenius. Suponía que **los electrólitos están formados por los iones** de que hablaba Faraday, y que al disolverlos o fundirlos, se separan dichos iones: se dice que **se disocian**. Arrhenius creía que los iones existen en los electrólitos antes de que estén disueltos o fundidos. Los iones serían átomos o grupos de átomos, con carga eléctrica distinta de cero. Si una vez disuelto o fundido el electrólito, se aplica una diferencia de potencial eléctrico, los iones se orientan, siendo atraídos por los electrodos correspondientes (los de signo contrario a ellos) y allí liberan carga eléctrica (aún no se hablaba de los electrones), convirtiéndose en átomos de elementos neutros.



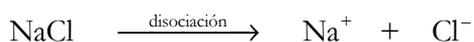
Michael Faraday (1791-1867)

Veamos un ejemplo:

**Sustancia electrólito:** El cloruro de sodio, NaCl.

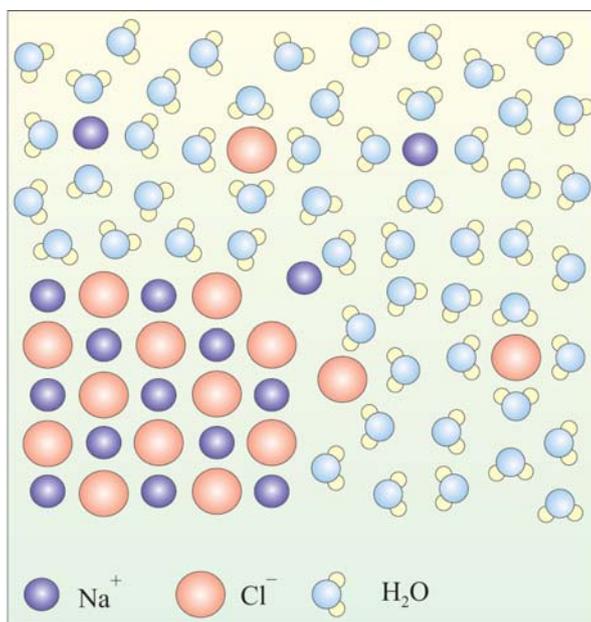
**Iones que la forman:** Cation  $\text{Na}^+$  (ion positivo).  
Anión cloruro  $\text{Cl}^-$  (ion negativo).

**Disociación**, separación en iones:



**Conectamos los electrodos a la pila:**

- \* Los cationes  $\text{Na}^+$  van hacia el cátodo (electrodo negativo).
- \* Los aniones  $\text{Cl}^-$  van hacia el ánodo (electrodo positivo).



Disociación del cloruro de sodio en agua

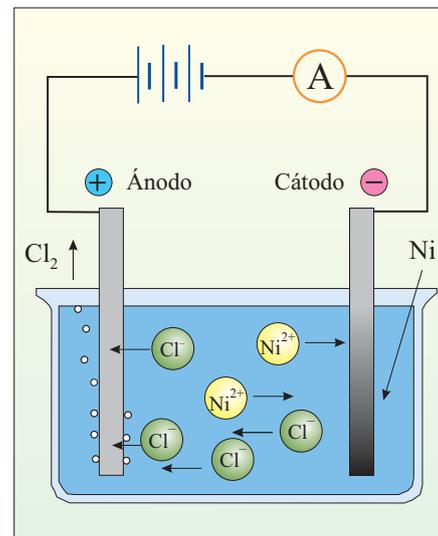
### Procesos en los electrodos:

\* En el cátodo:  $\text{Na}^+ + 1 \text{ electrón} \longrightarrow \text{Na}$  (átomos neutros)

\* En el ánodo:  $\text{Cl}^- - 1 \text{ electrón} \longrightarrow \text{Cl}$  (átomos neutros)

**A.6.-** Preparamos una disolución de cloruro de níquel (II) en agua y hacemos pasar corriente eléctrica.

- Describe el proceso que ocurre al disolverlo, antes de pasar la corriente.
- ¿Hacia dónde se desplazarán los iones cuando conectemos los electrodos a la pila?
- ¿Qué sustancias aparecerán en los electrodos mientras pasa la corriente eléctrica? ¿Cómo podemos explicarlo con la teoría de Arrhenius?
- Explica cómo crees que es el movimiento de las cargas en la disolución y en los conductores metálicos.
- ¿Cuál es el papel de la pila? ¿Qué diferencias hay entre la conducción en la disolución y la conducción en los conductores metálicos?



- A.7.-**
- Explica lo que ocurre cuando disolvemos yoduro de potasio en agua.
  - ¿Qué ocurre en cada uno de los electrodos si hacemos una electrólisis a esa disolución?

### Iones

Como hemos visto, en la explicación que Arrhenius dio de la electrólisis juega un papel fundamental el concepto de ion, pero **¿tienen los iones las mismas propiedades que los átomos de los que proceden?**

Como ocurrió con muchas otras a lo largo de la Historia, la teoría de Arrhenius no fue aceptada de forma inmediata. En cierto modo podemos considerar que resultaba demasiado avanzada o moderna para la época en que se propuso (1884) y por tanto tenía bastantes factores en contra:

- En primer lugar (y fíjate que ya estamos casi a finales del siglo XIX) había todavía bastantes científicos que no estaban convencidos de la necesidad de la teoría atómica para explicar las propiedades de las sustancias, por lo que, si ni siquiera estaban convencidos de la existencia de átomos, imagina lo que supondría para ellos aceptar la existencia de iones.

- En segundo lugar, al no comprender la diferencia entre átomo e ion, argumentaban sobre la imposibilidad de la existencia de éstos con razonamientos como el siguiente: «suponiendo que el cloruro de sodio estuviese realmente formado por iones cloruro e iones sodio, al disolverlo en agua y disociarse en sus iones deberíamos observar la reacción característica del sodio con el agua y, además, el desprendimiento de dicloro, gas verdoso amarillento, venenoso y de olor penetrante. Sin embargo, nada de eso se observa, de lo que pueden dar fe no sólo los científicos sino todas las personas que a diario añaden sal común a las comidas (la sal común es en su mayor parte cloruro de sodio) y no observan ninguno de los fenómenos descritos».

Esta interpretación suponía una confusión entre átomo e ion, confusión que por entonces se daba incluso entre científicos de alto nivel. Quizás te sorprenda lo que acabamos de decir, pero te recordamos que el desarrollo de los conceptos científicos ha sido en realidad mucho más difícil de lo que podemos reproducir en nuestras clases, en las que en muy poco tiempo tenemos que aprender conceptos cuya gestación supuso decenas de años de trabajo y necesitó el esfuerzo de muchos científicos. Pero ahora, con el modelo atómico que estamos utilizando, podemos explicar las diferencias de comportamiento entre átomos e iones pensando en la diferencia que hay entre sus configuraciones electrónicas.



### 1.14

En estas direcciones se pueden descargar simulaciones de la disolución de una sustancia iónica. Se ve cómo salen los iones positivos y negativos y cómo se unen a zonas diferentes de la molécula de agua.



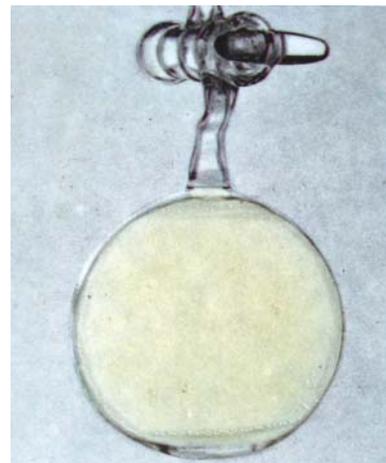
Cloruro de sodio y sodio

**A.8.-** Si ponemos en agua cloruro de sodio, que contiene el catión sodio  $\text{Na}^+$ , vemos que se disuelve y obtenemos una disolución con un sabor salado, incolora..., pero no se trata de un ejemplo de reacción química espectacular. Cuando se echa en un recipiente con agua un trocito pequeño de sodio metálico,  $\text{Na}$ , comienza a desplazarse rápidamente por la superficie del agua, pueden saltar trocitos más pequeños de sodio (por eso hay que evitar acercarse al recipiente), se desprenden gases, se producen pequeñas explosiones, aumenta la temperatura del agua..., un proceso realmente llamativo y espectacular. ¿A qué puede deberse esa diferencia en el comportamiento del sodio en ambas situaciones?



El metal sodio

Ya hemos visto que el átomo de sodio tiene 1 electrón en su último nivel energético y tiene 8 electrones en su penúltimo nivel. Cuando pierde un electrón, lo hace de su último nivel por lo que éste desaparece. De esa manera, el ion sodio tiene 8 electrones en su último nivel. Así, la estructura electrónica del ion sodio es idéntica a la del neón, gas noble muy estable. Por lo tanto, el ion sodio es muy poco reactivo, muy estable.



Recipiente con gas cloro

**A.9.- a)** Utilizando lo que sabes sobre el modelo atómico, especialmente la regla del octeto, y las definiciones de ion, anión y catión, indica el número de protones ( $Z$ ), número total de electrones ( $e$ ), número de electrones en el último nivel ( $e_n$ ), número de electrones en el penúltimo nivel ( $e_{n-1}$ ), carga eléctrica neta ( $q$ ) de los átomos: Li, Cl, S y Ca y de sus correspondientes iones.

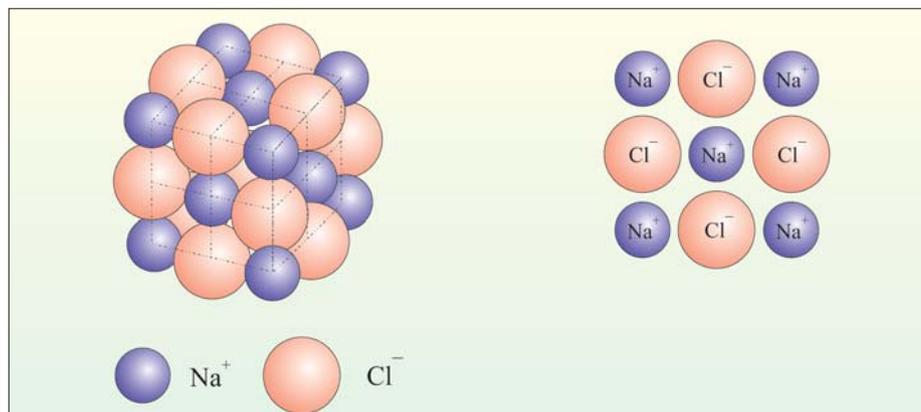
b) ¿Qué diferencias hay entre la configuración electrónica externa de un átomo de cloro y la de un ion cloruro?, ¿crees que esas diferencias pueden influir en que ambas especies químicas tengan diferentes propiedades?, ¿por qué?

### 3.2 Estructura de los electrólitos. El enlace iónico

Puesto que los electrólitos son sustancias formadas por iones, a veces se les llama **sustancias iónicas**. Para explicar cómo están constituidas estas sustancias utilizamos la teoría del **enlace iónico**, en la que suponemos que, cuando las sustancias iónicas se encuentran en estado sólido, los iones se mantienen atraídos por fuerzas eléctricas muy grandes, que se establecen entre cargas eléctricas de signos contrarios. La distribución espacial de los iones da lugar a una **estructura gigante** en la que cada catión aparece rodeado de aniones, y cada anión aparece rodeado de cationes. La distribución espacial de los iones se hace de forma regular y ordenada constituyendo una estructura cristalina. En la figura, se pretende representar una parte de un cristal de cloruro de sodio. El número de aniones que rodean a cada catión, y viceversa, dependerá de la carga y del tamaño de ambos.

Los iones de los distintos elementos, unidos formando cristales, son más estables que los átomos correspondientes. Por ello, en la naturaleza casi siempre encontramos las sustancias constituidas por iones en lugar de las sustancias simples constituidas por átomos neutros.

Así, no encontramos las sustancias hierro, sodio, aluminio, etc., sino compuestos como óxidos, sulfuros, etc., de estos elementos. Pocas sustancias, como el oro o el azufre, se presentan como sustancias simples en la naturaleza.



En estas estructuras no podemos hablar de parejas ni de pequeños grupos de cationes y aniones separados, independientes de los demás. Por tanto, no se forman moléculas en las sustancias iónicas, al igual que ocurre con las sustancias metálicas.

La **fórmula** de un sólido iónico nos indica la **clase de iones** que constituyen la sustancia iónica y en qué **proporción** se encuentran en ella dichos iones. Los iones se encuentran en la proporción adecuada para que la sustancia, en su conjunto, sea siempre **eléctricamente neutra**. Las reglas de formulación indican que en la fórmula de la sustancia no se debe escribir la carga de los iones, pero no se debe olvidar que lo que hay allí son iones y no átomos neutros.



1.15

Se puede ver la transferencia electrónica que da lugar a la formación de iones y la posterior formación de una estructura cristalina.

**A.10.-** Escribe las fórmulas que deben tener las sustancias formadas por las siguientes parejas de iones: a) iones  $\text{Na}^+$  e iones  $\text{Cl}^-$ ; b) iones  $\text{Ca}^{2+}$  e iones  $\text{Cl}^-$ ; c) iones  $\text{Ca}^{2+}$  e iones  $\text{O}^{2-}$ ; d) iones  $\text{Fe}^{3+}$  e iones  $\text{O}^{2-}$ .

P

**A.11.-** A partir de la estructura de los electrolitos y del tipo de enlace que presentan intenta explicar:

- ¿Por qué no son conductores en estado sólido?, ¿por qué sí lo son en estado líquido o disueltos?
- ¿Por qué tienen puntos de fusión y ebullición altos?, ¿por qué tienen dureza elevada?
- ¿Por qué su densidad es alta, pero menor que la de los metales?
- ¿Por qué son frágiles?



Cloruro y óxido de calcio

### La regla del octeto y la carga que tiene un ion

La regla del octeto establece que la configuración electrónica más estable para un átomo es la de gas noble (en la que el último nivel está formado por 2 electrones, si se trata del helio, o por 8 electrones si se trata de cualquier otro gas noble). Según esa idea **los átomos quedan más estables después de ganar o perder el número de electrones suficiente como para alcanzar la configuración electrónica externa de gas noble y unirse formando un cristal**. Esto permite predecir con bastante exactitud cuál será la carga de los iones a los que más frecuentemente dé lugar un tipo de átomos determinado.

**A.12.-** a) De acuerdo con la regla del octeto ¿cuál será la carga eléctrica más probable de los iones de los siguientes átomos: K, Mg, Al, H, O, S, F?

b) Teniendo en cuenta que todas las sustancias son en conjunto neutras ¿cuál será la fórmula de las sustancias formadas por las siguientes parejas de estos iones? catión potasio + anión cloruro; catión aluminio + anión cloruro; catión magnesio + anión óxido; catión aluminio + anión sulfuro.

**A.13.-** a) ¿Entre qué tipo de átomos crees que se podrá formar un enlace iónico?

b) Comenta si la siguiente frase es o no correcta: «los halógenos presentan siempre enlaces iónicos en sus combinaciones».

Hemos visto que la valencia de los iones es exactamente la carga que portan.

Se llama **electrovalencia** de un elemento a la carga que tienen sus iones, es decir al número de electrones que gana o pierde cuando forma sus iones.

La electrovalencia se considera positiva cuando el átomo ha perdido electrones (porque así se forman iones positivos), pero es negativa cuando el átomo gana electrones (porque forma iones negativos).

Hay una relación entre la electrovalencia de un elemento y su posición en la tabla periódica, ya que al saber el grupo en el que se encuentra sabemos los electrones que tiene en su último nivel. Eso permite saber cuántos electrones deberá ganar o perder para alcanzar la estructura electrónica de gas noble.

La siguiente tabla recoge las electrovalencias más comunes de los elementos que usamos con más frecuencia.

IA	Elementos de transición					IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
+1	+2	Generalmente +2					+3	+2		-2	-1
		Cr <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup>	Cu <sup>+</sup> /Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>					
		Cr <sup>3+</sup>	Mn <sup>3+</sup>	Co <sup>2+</sup> /Co <sup>3+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	+4	+3			
				Ni <sup>2+</sup>	Au <sup>+</sup> /Au <sup>3+</sup>	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /Hg <sup>2+</sup>		+5			
				Pt <sup>2+</sup> /Pt <sup>4+</sup>							

Cuando un elemento puede formar más de un catión se le nombra indicando su valencia entre paréntesis y con números romanos. Así: Fe<sup>2+</sup>, catión hierro (II); Fe<sup>3+</sup>, catión hierro (III).

Hasta ahora sólo hemos visto ejemplos en que la carga positiva o negativa de los iones corresponde a un sólo átomo, en cuyo caso decimos que se trata de un **ion monoatómico**. Pero también existe la posibilidad de que esas cargas positivas o negativas correspondan a grupos de átomos. En tal caso hablamos de **iones poliatómicos**, como el ion nitrato NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Ejemplos de iones poliatómicos son:

Catión hidronio	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Catión amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Anión nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Anión clorato	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Anión bromato	BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Anión oxhidrilo	OH <sup>-</sup>
Anión acetato	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	Anión sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Anión carbonato	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Anión fosfato	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>

**A.14.-** Escribe las ecuaciones correspondientes a la disociación que experimentan las siguientes sustancias cuando se disuelven en agua o funden: cloruro de sodio, NaCl; óxido de hierro (II), FeO; yoduro de calcio, CaI<sub>2</sub>; bromuro de aluminio, AlBr<sub>3</sub>; óxido de hierro (III), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; hidróxido de amonio, NH<sub>4</sub>OH; sulfato de amonio (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



P

**A.15.-** a) Explica cuántos electrones comparten los átomos de flúor en la molécula  $F_2$ . Haz un diagrama de Lewis que lo represente.

b) ¿Cuántos electrones comparten los átomos de nitrógeno al formar la molécula  $N_2$ ? Representa el diagrama de Lewis correspondiente.

c) ¿Cuántos electrones debe compartir un átomo de carbono para que cumpla la regla del octeto? ¿Y un átomo de fósforo?

Hay moléculas en las que se comparten dos o tres parejas de electrones entre dos átomos, constituyendo **enlaces dobles o triples** que se representan mediante dos o tres guiones. Por tanto podemos representar la molécula de dióxígeno como  $O=O$  y la de dinitrógeno como  $N\equiv N$ .

Cabe también la posibilidad de que átomos de elementos diferentes compartan electrones. Puede ser el caso de la unión del cloro con el oxígeno para dar óxido de cloro (I). Ya sabemos que un átomo de cloro tiene 7 electrones en su nivel más externo. Por su parte, un átomo de oxígeno tiene en su nivel más externo 6 electrones. Como consecuencia, cada átomo de cloro comparte un electrón, mientras que el átomo de oxígeno comparte dos de sus electrones, uno con cada átomo de cloro. Son necesarios dos átomos de cloro por cada átomo de oxígeno y por eso la fórmula de esa sustancia es  $Cl_2O$ .

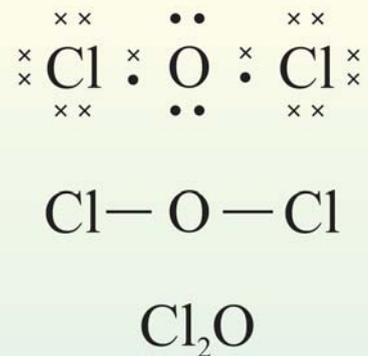
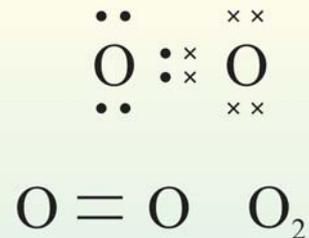
El agua es un buen ejemplo de sustancia no electrólito. El átomo de hidrógeno tiene un electrón y sólo necesita compartir otro electrón para tener la estructura electrónica de gas noble, ya que el gas noble helio tiene sólo dos electrones. Puesto que el oxígeno comparte dos electrones, son necesarios dos hidrógenos, por lo que la fórmula del agua es  $H_2O$ , expresando que cada molécula está formada por 1 átomo de oxígeno y 2 de hidrógeno.

La capacidad de combinación de un átomo cuando forma enlace covalente con otros se conoce con el nombre de **covalencia**, que definimos así:

Se llama **covalencia** de un elemento al número de electrones que comparte un átomo cuando forma enlace covalente.

P

**A.16.-** Escribe la covalencia: a) del cloro cuando forma una molécula de dicloro; b) del nitrógeno cuando forma molécula de dinitrógeno; c) del cloro y del oxígeno en el óxido de dicloro; d) del oxígeno y del cloro en el trióxido de dicloro.



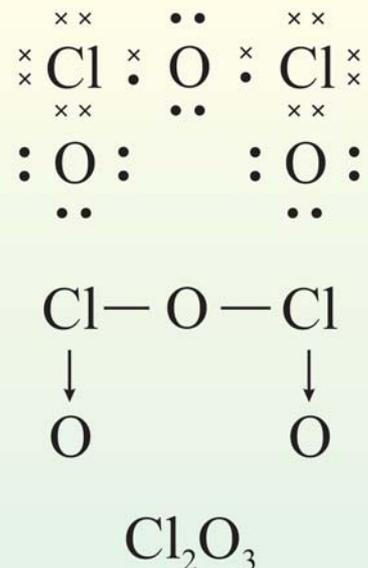
## 4.2 Enlace covalente dativo

Hemos explicado la estructura de la molécula  $Cl_2O$ . Cada átomo de cloro comparte un electrón mientras que el oxígeno comparte dos. De esa forma, cada átomo de cloro queda con 8 electrones en su último nivel, lo mismo que le ocurre al átomo de oxígeno.

¿Pero cómo explicar la estructura de la molécula de trióxido de dicloro,  $Cl_2O_3$ ? Ahora cada átomo de cloro, además del electrón que comparte con un átomo de oxígeno, comparte dos electrones con otro átomo de oxígeno, pero de forma que estos dos electrones que se comparten pertenecían al átomo de cloro.

P

Se forma un **enlace covalente dativo** cuando se produce un enlace covalente entre dos átomos, pero de forma que sólo es uno de ellos el que aporta el par de electrones que se comparte. En este caso la línea que representa al enlace se sustituye por una flecha dirigida hacia el átomo que no aporta electrones al enlace.



P

- A.17.-** a) ¿Cómo será el enlace entre el azufre y el oxígeno en el monóxido de azufre? ¿Cuántos electrones compartirá cada átomo? Dibuja su diagrama de Lewis.  
 b) Contesta a las preguntas anteriores para el caso de que se forme una molécula de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).  
 c) Idem para cuando se forme una molécula de trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ).  
 d) Escribe la covalencia del azufre y del oxígeno en cada una de las sustancias anteriores.

### 4.3 Enlace covalente polar y apolar

Cuando se unen dos átomos idénticos los electrones compartidos son igualmente atraídos por ambos átomos, por lo que se distribuyen por igual en la molécula. Se dice entonces que el enlace es **covalente puro o apolar**. Es el caso de las moléculas de dicloro  $\text{Cl}_2$ , dióxígeno  $\text{O}_2$ , dinitrógeno  $\text{N}_2$ , etc.

Cuando se tiene una molécula formada por dos átomos diferentes, uno de ellos puede atraer más a los electrones que el otro. Es el caso de la molécula de cloruro de hidrógeno,  $\text{HCl}$ . En este caso el cloro atrae con más fuerza que el hidrógeno a los dos electrones compartidos. Por tanto, los electrones se situarán más cerca del átomo de cloro (podemos decir que los electrones compartidos pertenecen más tiempo a un átomo que al otro). En este caso se dice que **el enlace está polarizado o que el enlace es polar**. Esta situación crea una distribución desigual de la carga eléctrica en el sistema. La zona del enlace, considerada en su totalidad, sigue siendo neutra pues tiene las mismas cargas positivas que negativas, pero hay zonas (en las proximidades del átomo de cloro) en las que hay un cierto exceso de carga negativa (puesto que los electrones compartidos están en esa zona más de la mitad del tiempo), mientras que en otras zonas (las proximidades del átomo de hidrógeno) hay una cierta falta de carga negativa (o exceso de carga positiva), ya que los electrones compartidos están en esa zona menos de la mitad del tiempo.

Cuando una molécula presenta enlaces polarizados se dice que es **una molécula polar**, y pueden considerarse una o varias zonas positivas y otras negativas (según el número de enlaces que haya en ella), se dice que se forman **dipolos**. Sin embargo, por razones de simetría, puede también ocurrir que haya moléculas en las que se consideren enlaces polarizados y que sin embargo la molécula en su conjunto resulte ser apolar.

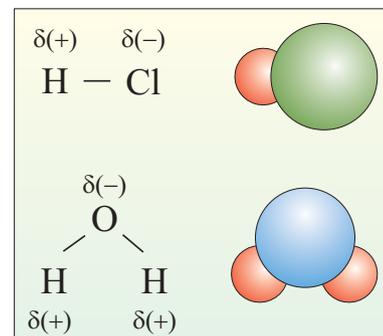
P

Para cuantificar la atracción por los electrones compartidos se ha creado una nueva magnitud: la **electronegatividad**. Cuanto mayor sea la tendencia de un átomo por atraer a los electrones del enlace mayor será su electronegatividad. Los científicos han acordado medirla en una escala que va de 0 a 4.

Los elementos más electronegativos son los situados más a la derecha y arriba de la tabla periódica, pues son los que más electrones tienen en su último nivel y sus electrones externos están más cerca del núcleo, que los retiene con más fuerza (el flúor seguido del oxígeno son los elementos más electronegativos). Para adquirir la configuración de gas noble les resulta más fácil tomar electrones que no ceder los muchos que tienen en su último nivel. Los elementos menos electronegativos son los metales, que tiene más tendencia a ceder electrones que a tomarlos, pues tienen pocos electrones en su último nivel energético.

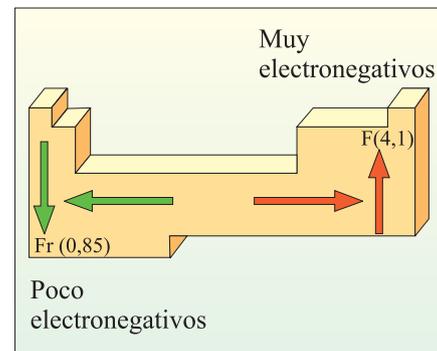
Podemos decir por tanto que **la electronegatividad es una propiedad periódica** y que suele ser menor cuanto más abajo y más hacia la izquierda se encuentre un elemento en la tabla periódica. Es mayor cuanto más arriba y más a la derecha nos encontremos en la tabla periódica.

La polarización de un enlace será tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia entre las electronegatividades de los átomos que se enlazan.



Moléculas  $\text{HCl}$  y  $\text{H}_2\text{O}$  con cargas parciales.

P



La electronegatividad es una propiedad periódica.

## Fuerzas intermoleculares

Cuando una molécula está polarizada pueden establecerse fuerzas eléctricas de atracción entre ella y las que la rodean, originando lo que se conoce como **fuerzas intermoleculares** o **enlaces intermoleculares**. De ellas hay dos grupos importantes: **los enlaces de hidrógeno** y **las fuerzas de Van der Waals**.

Los **enlaces de hidrógeno** se establecen entre moléculas constituidas por hidrógeno y otro elemento bastante electronegativo (fundamentalmente O, N y F). En tal caso, el par electrónico que se comparte en cada molécula queda muy cerca del otro elemento, con lo que hay una zona (la más próxima al átomo de hidrógeno) con carga positiva y otra (la más próxima al otro elemento) con carga negativa. Unas moléculas pueden unirse a otras de forma que la parte del hidrógeno de una atraiga a la parte del otro elemento de la otra, con lo que existen atracciones entre moléculas que dificultan sus movimientos.

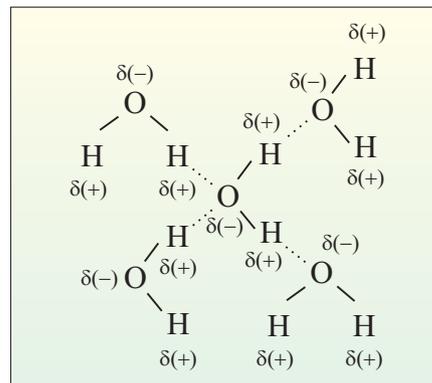
Estas fuerzas intermoleculares, o fuerzas entre moléculas, no son tan intensas como las que se establecen entre los iones en una sustancia iónica o entre los átomos en un enlace covalente, pero son suficientes, por ejemplo, como para hacer que el agua, que debería ser gaseosa a temperatura ambiente si no existieran estos enlaces, sea líquida en estas condiciones.

El otro tipo de fuerzas intermoleculares se conocen como **fuerzas de Van der Waals** y son más débiles en general que las fuerzas que se establecen en los enlaces de hidrógeno. Se deben a las interacciones entre dipolos, incluso aunque sean temporales como ocurre en el caso de algunas moléculas apolares en las que los movimientos de los electrones provocan la formación de dipolos instantáneos.

Debemos distinguir claramente entre las fuerzas intramoleculares (fuerzas entre los átomos que componen una molécula) y las fuerzas intermoleculares (fuerzas entre distintas moléculas). Las intramoleculares son siempre mayores que las intermoleculares.

**A.18.-** De las siguientes propiedades de una sustancia covalente, indica cuáles pueden estar relacionadas con las fuerzas intramoleculares y cuáles con las fuerzas intermoleculares:

a) Mayor o menor dificultad para descomponerla; b) punto de fusión; c) poder calorífico; d) punto de ebullición; e) conductividad eléctrica; f) densidad; g) estructura molecular.



Enlaces de hidrógeno entre moléculas de agua.



Johannes Van der Waals (1837-1923)



1.16

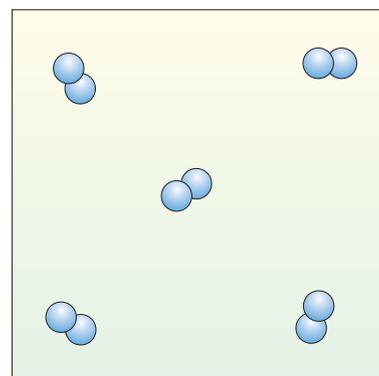
En esta simulación se ve como se distribuyen los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua. Hacer clic en «Hydrogen Bonding Between Water Molecules».

## 4.4 Estructura de las sustancias con enlace covalente

### Sustancias moleculares

Lo más habitual es que el enlace covalente dé lugar a la formación de moléculas individuales, constituidas por unos pocos átomos de cada clase y que pueden considerarse como entidades individuales separadas unas de otras. (Puede haber moléculas en las que participen un número grande de átomos, pero ese número no es comparable con los cientos de miles de trillones de iones que pueden formar un cristal iónico o un cristal metálico por pequeños que sean).

En este caso, la fórmula nos indica la clase de átomos y el número de cada uno de ellos que constituyen esa molécula. Es el caso de algunas sustancias simples gaseosas ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ), o las de los halógenos ( $F_2$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$ ,  $I_2$ ), formadas por moléculas diatómicas, el del agua ( $H_2O$ ), monóxido de carbono (CO), etc.

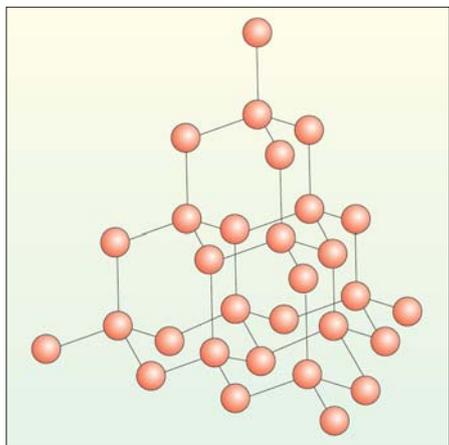


Constitución de un gas diatómico

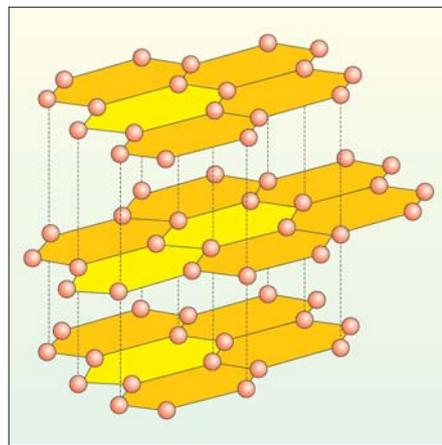
## Sólidos atómicos

En algunos casos (como el grafito, el diamante o el dióxido de silicio) se forman estructuras gigantes constituidas por gran cantidad de átomos unidos mediante enlace covalente. En estos casos, lo único que indica la fórmula es el tipo de átomos que constituyen la sustancia y la proporción en que se encuentran dichos átomos.

P



Estructura del diamante



Estructura del grafito

### El enlace covalente explica las propiedades de las sustancias covalentes

El enlace covalente supone compartir electrones entre dos átomos; la pareja de electrones que forman el enlace pertenece a ambos, pero, por la gran tendencia que tienen los dos átomos a capturar electrones, éstos no quedan libres (como ocurría en los metales) sino preferentemente en posiciones entre los dos átomos que enlazan. Decimos que esos electrones están ligados al par de átomos. Esto explica que la fuerza de unión entre átomos sea muy intensa. Al mismo tiempo, entre las moléculas covalentes existen fuerzas atractivas, las que hemos llamado fuerzas intermoleculares, mucho más débiles que la fuerza de unión entre átomos.

P

**A.19.-** Explica con la ayuda de la teoría del enlace covalente las propiedades de las sustancias no electrólitos: no son buenas conductoras de la corriente eléctrica y tienen puntos de fusión y ebullición relativamente bajos, salvo en los sólidos atómicos, que los tienen altos.

### Recapitulación

A lo largo de esta unidad hemos intentado explicar las propiedades de los metales, los electrólitos y las sustancias covalentes con las teorías del enlace químico. Podemos utilizar la electronegatividad para predecir el tipo de enlace que se establecerá entre dos átomos determinados.

Cuando se unen átomos poco electronegativos con átomos muy electronegativos es fácil que los primeros cedan electrones y que los segundos los tomen, por lo que se forman iones y acaba originándose un enlace iónico.

Cuando se unen átomos de electronegatividad alta, lo que indica que son más estables si toman uno o varios electrones, y además tienen valores de la misma parecidos o iguales, suponemos que la situación de más estabilidad es aquella en

#### DOS FORMAS DEL CARBONO

El grafito y el diamante están formados por átomos de carbono unidos por enlaces covalentes, pero tienen estructuras distintas.

En el diamante cada átomo de carbono está unido a otros cuatro formando tetraedros que originan una estructura cristalina. La fortaleza de los enlaces covalentes explica que esta sustancia sea la más dura que se conoce.

El grafito, que es la forma más estable del carbono, está formado por capas. En cada capa los átomos se unen formando hexágonos mediante enlaces covalentes muy fuertes. Las capas están débilmente unidas por fuerzas de Van der Waals, lo que explica sus propiedades y usos como lubricante, minas de lápices, etc.

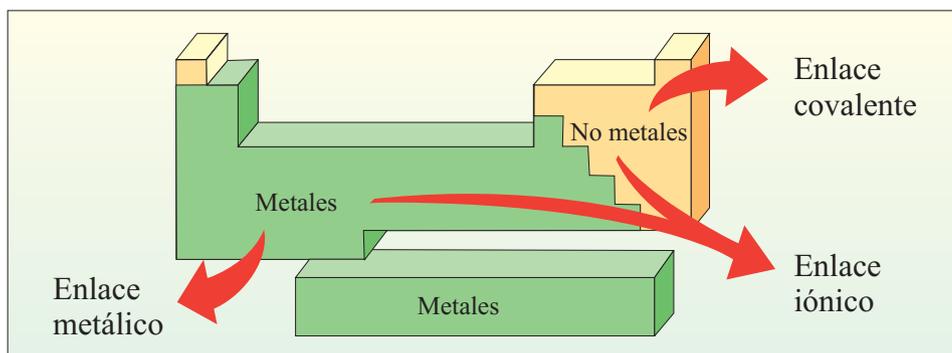
que los átomos que enlazan comparten electrones, formando así un enlace covalente.

Cuando se unen átomos poco electronegativos, que son más estables cuando ceden electrones, se forma un enlace metálico. En resumen:

El enlace iónico se da entre átomos con electronegatividades bastante diferentes (uno de ellos muy electronegativo y el otro poco electronegativo). Lo normal será que se forme entre metales y no metales.

El enlace covalente se da entre átomos electronegativos que, además, tienen parecidos valores de electronegatividad. Se dará entre no metales.

El enlace metálico se da entre átomos poco electronegativos y por tanto con electronegatividad también semejante. Lo formarán los metales entre sí.



Hay que advertir que cuando hablamos de enlace covalente, iónico, metálico, habrá que entender la expresión en sentido relativo, de forma que nos referimos a que el carácter de ese enlace sea predominantemente iónico, covalente o metálico, pero sabiendo que hay pocos casos de enlace covalente «puro», o de iónico «puro»...

**A.20.-** Indica para cada uno de los grupos de sustancias que hemos llamado metales, electrólitos y no electrólitos:

- Si son buenos o malos conductores de la corriente eléctrica.
- Si sus puntos de fusión y ebullición son altos o bajos.
- Tipo de enlace que se da entre los átomos que participan en esas sustancias.
- El tipo de partículas (átomos, iones, etc.) que participan en el enlace.
- El tipo de elementos que participa en el enlace.
- Si su estructura es molecular o cristalina.
- Qué indica su fórmula.

**A.21.-** Identifica de qué tipo son las sustancias: Ag, Ne, KBr, CCl<sub>4</sub>. Ordénalas por orden creciente de sus puntos de ebullición. Justifica tu respuesta.

**A.22.-** Los metales y los sólidos iónicos están compuestos por iones. ¿Por qué unos son dúctiles y maleables y los otros quebradizos?

**A.23.-** a) Escribe las fórmulas de las siguientes sustancias y explica qué indica cada una: fluoruro de cinc; sulfuro de aluminio; sulfuro de carbono.

b) Escribe sus ecuaciones de disociación.

c) Explica los procesos que ocurrirán en los electrodos cuando se someten a electrólisis las sustancias anteriores.

**A.24.-** Escribe dos enunciados observacionales (que se refieren a la descripción de las observaciones) y dos enunciados teóricos referentes a las sustancias que presentan cada tipo de enlace.

## 5

## FORMULACIÓN DE COMPUESTOS BINARIOS

## 5.1 Hidruros

Son las combinaciones del hidrógeno con los demás elementos. La valencia del hidrógeno es por definición 1, la de los demás elementos depende del grupo de la tabla al que pertenece:

Grupo	1	2	13	14	15	16	17
Valencia	1	2	3	4	3	2	1



1.17

Reglas y ejercicios de formulación.

**Se formulan** escribiendo para los grupos 16 y 17, primero el H, luego el otro elemento. Al contrario para el resto. Así se sigue la regla general de formulación que indica que se escribe a la izquierda el elemento menos electronegativo (cargado positivamente) y a la derecha el más electronegativo (cargado negativamente).

**Se nombran**, según la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), al contrario de como se escriben, terminando siempre el primer elemento con el sufijo -uro. En algunos casos se sigue utilizando su nombre tradicional.

P

Fórmula	IUPAC	TRADICIONAL
HF	fluoruro de hidrógeno	ácido fluorhídrico (en agua)
HCl	cloruro de hidrógeno	ácido clorhídrico ( « « )
HBr	bromuro de hidrógeno	ácido bromhídrico ( « « )
HI	yoduro de hidrógeno	ácido yodhídrico ( « « )
H <sub>2</sub> O	—————	agua
H <sub>2</sub> S	sulfuro de hidrógeno	ácido sulfhídrico ( « « )
H <sub>2</sub> Se	seleniuro de hidrógeno	ácido selenhídrico ( « « )
H <sub>2</sub> Te	teluro de hidrógeno	ácido telurhídrico ( « « )
NH <sub>3</sub>	hidruro de nitrógeno	amoníaco
PH <sub>3</sub>	hidruro de fósforo	fosfina
AsH <sub>3</sub>	hidruro de arsénico	arsina
SbH <sub>3</sub>	hidruro de antimonio	estibina
CH <sub>4</sub>	—————	metano
SiH <sub>4</sub>	hidruro de silicio	silano
BH <sub>3</sub>	hidruro de boro	borano

Los demás hidruros, en general, no tienen nombres tradicionales.

P

**A.25.-** Escribe la fórmula o el nombre de los siguientes compuestos:

hidruro de rubidio	HgH <sub>2</sub>
arsina	HBr
ácido telurhídrico	NaH
estibina	CaH <sub>2</sub>
yoduro de hidrógeno	UH <sub>3</sub>
hidruro de germanio	CH <sub>4</sub>

## 5.2 Óxidos

Son las combinaciones binarias del oxígeno con otros elementos. La valencia del oxígeno es 2 (se combina con dos hidrógenos para formar agua). Las de los otros elementos vienen definidas por el grupo a que pertenecen en la tabla periódica, y pueden tomar más de un valor ya que algunos elementos forman varios óxidos distintos.

Al ser el oxígeno el elemento más electronegativo, después del flúor, tiene tendencia a captar dos electrones totalmente, por lo que la mayoría de los óxidos son compuestos bastante iónicos.

**Se nombran** con la palabra óxido seguida del elemento que acompaña al oxígeno. Cuando este elemento puede formar varios óxidos existen tres formas para diferenciarlos:

- **Nomenclatura sistemática:** con prefijos que indican el número de átomos que se representan en la fórmula. El prefijo «mono» sólo se utiliza si hay un átomo de cada clase: CO, monóxido de carbono. Si un elemento tiene una valencia única, es decir, sólo puede formar un óxido se puede prescindir de ponerle prefijos.

- **Nomenclatura de Stock:** indicando la valencia del elemento que acompaña al oxígeno.

- **Nomenclatura tradicional:** distingue entre los óxidos metálicos y los de los no metales. Para los primeros, cuando existen dos óxidos del mismo elemento, se les cambia la terminación del metal con el sufijo -ico para la valencia mayor y -oso para la menor. A los óxidos de los no metales y que además puedan formar ácidos al combinarse con agua, se les llama anhídridos utilizándose también los sufijos anteriores. Para los que no forman ácidos no hay reglas claras. Como puedes ver, la nomenclatura tradicional es difícil y poco útil por lo que la ponemos simplemente como información ya que se suele usar aún en determinados ambientes.

**Se formulan** escribiendo primero el elemento con el subíndice 2, que es la valencia del oxígeno, y seguidamente el oxígeno con un subíndice correspondiente a la valencia del otro elemento. Si ésta fuese par se simplificarán ambas valencias dividiendo por dos.

P

Fórmula	N. sistemática	N. de Stock	N. tradicional
Na <sub>2</sub> O	óxido de sodio	óxido de sodio	óxido de sodio
FeO	monóxido de hierro	óxido de hierro (II)	óxido ferroso
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	trioxido de dihierro	óxido de hierro (III)	óxido férrico
CO	monóxido de carbono	óxido de carbono (II)	monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono	óxido de carbono (IV)	anhídrido carbónico
SiO <sub>2</sub>	dióxido de silicio	óxido de silicio (IV)	anhídrido silícico
N <sub>2</sub> O	óxido de dinitrógeno	óxido de nitrógeno (I)	óxido nitroso
NO	monóxido de nitrógeno	óxido de nitrógeno (II)	óxido nítrico
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	trioxido de dinitrógeno	óxido de nitrógeno (III)	anhídrido nitroso
NO <sub>2</sub>	dióxido de nitrógeno	óxido de nitrógeno (IV)	dióxido de nitrógeno
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	pentaóxido de dinitrógeno	óxido de nitrógeno (V)	anhídrido nítrico
SO <sub>2</sub>	dióxido de azufre	óxido de azufre (IV)	anhídrido sulfuroso
SO <sub>3</sub>	trioxido de azufre	óxido de azufre (VI)	anhídrido sulfúrico
Cl <sub>2</sub> O	óxido de dicloro	óxido de cloro (I)	anhídrido hipocloroso
Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	trioxido de dicloro	óxido de cloro (III)	anhídrido cloroso
Cl <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	pentaóxido de dicloro	óxido de cloro (V)	anhídrido clórico
Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	heptaóxido de dicloro	óxido de cloro (VII)	anhídrido perclórico

**A.26.-** Escribe la fórmula o el nombre de los siguientes compuestos:

óxido de calcio	$\text{Li}_2\text{O}$	óxido de dinitrógeno
óxido de cobalto (III)	$\text{CdO}$	óxido de potasio
óxido de hierro (II)	$\text{CO}$	dióxido de manganeso
óxido de dibromo	$\text{SrO}$	dióxido de silicio
óxido de cobalto (II)	$\text{Al}_2\text{O}_3$	óxido de cobre (II)

## 5.3 Peróxidos

El grupo característico de este tipo de compuestos es el ion peróxido  $\text{O}_2^{2-}$ , donde los dos átomos de oxígeno comparten dos electrones y captan otros dos ( $-\text{O}-\text{O}-$ ).

**Se nombran** con la palabra peróxido seguida del nombre del elemento o con la nomenclatura sistemática.

**Se formulan** escribiendo primero el símbolo del elemento con el subíndice 2 y a continuación el grupo ( $\text{O}_2$ ) con otro subíndice correspondiente a la valencia del elemento, sólo se puede simplificar si permanece el grupo  $\text{O}_2$ .

Fórmula	N. sistemática	N. tradicional
$\text{Na}_2\text{O}_2$	dióxido de sodio	peróxido de sodio
$\text{BaO}_2$	dióxido de bario	peróxido de bario
$\text{ZnO}_2$	dióxido de cinc	peróxido de cinc
$\text{H}_2\text{O}_2$	dióxido de dihidrógeno	peróxido de hidrógeno (agua oxigenada)

## 5.4 Compuestos binarios de no metal con metal

En este apartado veremos estos compuestos excepto los ya estudiados, hidruros y óxidos. El no metal actúa normalmente con una sola valencia, la misma que tiene frente al hidrógeno:

**Se nombran** con el no metal terminado en -uro seguido del metal y los prefijos o sufijos que se han aplicado a los óxidos según las distintas nomenclaturas.

**Se formulan** siguiendo la regla general, primero el metal y después el no metal, intercambiando sus valencias.

Fórmula	N. sistemática	N. de Stock
$\text{MgF}_2$	fluoruro de magnesio	fluoruro de magnesio
$\text{CuBr}$	monobromuro de cobre	bromuro de cobre (I)
$\text{CuCl}_2$	dicloruro de cobre	cloruro de cobre (II)
$\text{MnS}$	monosulfuro de manganeso	sulfuro de manganeso (II)
$\text{Mn}_2\text{S}_3$	trisulfuro de dimanganeso	sulfuro de manganeso (III)
$\text{CoSe}$	monoseleniuro de cobalto	seleniuro de cobalto (II)
$\text{Ca}_3\text{N}_2$	dinitruro de tricalcio	nitruro de calcio
$\text{CrB}$	monoboruro de cromo	boruro de cromo (III)

**A.27.-** Escribe la fórmula o el nombre de los siguientes compuestos:

bromuro de potasio	FeP
sulfuro de sodio	PtF <sub>4</sub>
arseniuro de cinc	PbI <sub>2</sub>
seleniuro de plomo (IV)	Au <sub>2</sub> S
cloruro de mercurio (I)	Na <sub>3</sub> Sb
difosfuro de trihierro	SnCl <sub>4</sub>
fluoruro de calcio	CoBr <sub>2</sub>
tribromuro de oro	CaSe

## 5.5 Compuestos binarios de no metal con no metal

**Se nombran** como los anteriores empezando por el más electronegativo terminándolo en -uro seguido del otro elemento, utilizando prefijos o la valencia según la nomenclatura que se use.

**Se formulan** escribiéndolos al revés de como se nombran, intercambiando las respectivas valencias.

Para conocer el orden se utiliza la siguiente regla, aunque no es totalmente exacta: los elementos más electronegativos son el flúor y el oxígeno, por este orden; le siguen los halógenos, hacia abajo en su grupo, luego el azufre y hacia abajo los demás anfígenos, y así sucesivamente hasta llegar al boro (véase la tabla periódica).

Las valencias del elemento de la derecha, el que se supone más electronegativo, son las mismas que en los compuestos anteriores. Las del otro quedan definidas en el nombre del compuesto.

Fórmula	N. sistemática	N. de Stock
BrF	monofluoruro de bromo	fluoruro de bromo (I)
IF <sub>7</sub>	heptafluoruro de yodo	fluoruro de yodo (VII)
SF <sub>6</sub>	hexafluoruro de azufre	fluoruro de azufre (VI)
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	trisulfuro de diantimonio	sulfuro de antimonio (III)
CS <sub>2</sub>	disulfuro de carbono	sulfuro de carbono
SiC	carburo de silicio	carburo de silicio
BP	fosfuro de boro	fosfuro de boro

Puede observarse que los subíndices se simplifican cuando es posible (en el fosfuro de boro, por ejemplo, ambos elementos usan la valencia 3). Además si ambos elementos sólo usan una única valencia, no se tienen que indicar ni los prefijos ni la valencia en la nomenclatura de Stock (véanse los tres últimos ejemplos).

**A.28.-** Escribe la fórmula o el nombre de los siguientes compuestos:

pentafluoruro de bromo	CCl <sub>4</sub>
tricloruro de yodo	PBr <sub>3</sub>
disulfuro de silicio	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
mononitruro de fósforo	ICl
hexafluoruro de azufre	NF <sub>3</sub>
pentabromuro de fósforo	IF <sub>5</sub>
tetrayoduro de azufre	SeI <sub>6</sub>

1. En un vaso cerrado calentamos gas dicloro,  $\text{Cl}_2$ , y octoazufre sólido,  $\text{S}_8$ , obteniéndose una nueva sustancia, dicloruro de azufre,  $\text{SCl}_2$ , que es líquida a temperatura ambiente. Representa en un dibujo cómo nos imaginaríamos a escala atómica el contenido del vaso antes y después de calentar. Escribe la ecuación química correspondiente al proceso que tiene lugar. ¿Cómo podríamos volver a obtener cloro y azufre a partir del dicloruro de azufre líquido?

2. a) A veces, la cantidad de una sustancia gaseosa a temperatura ambiente se expresa en unidades de volumen. En esas ocasiones hay que indicar también otras condiciones, ¿cuáles?, ¿por qué? Justifica tu respuesta con la teoría cinético-molecular.

b) ¿Dónde crees que hay más amoníaco: en 20 L de ese gas medidos a 1 atm y 20 °C o en 8 L del mismo gas medidos a 2 atm y 10 °C? Explica la respuesta.

3. Para quemar 18 g de carbón puro se necesitaron 48 g de oxígeno. Vamos a suponer que el carbón es carbono puro.

a) ¿Cuánto oxígeno necesitaremos para quemar 9 g de carbón puro? ¿En qué ley de las reacciones químicas te basas para realizar el cálculo?

b) Aplica la teoría atómica de Dalton a la reacción del apartado a) para justificar la ley anterior.

c) Si la masa atómica relativa del carbono es 12 y la fórmula del producto que se obtiene al quemar el carbón es  $\text{CO}_2$ , calcula la masa atómica relativa del oxígeno.

4. Justifica con la teoría atómica y la ley de Avogadro la siguiente relación de volúmenes de gases en la obtención de cloruro de hidrógeno,  $\text{HCl}$ : 1 volumen de dihidrógeno reacciona completamente con un volumen de dicloro y se forman dos volúmenes de cloruro de hidrógeno, todos medidos en las mismas condiciones de presión y temperatura.

5. En las tablas periódicas construidas colocando los elementos en orden creciente de sus masas atómicas había que realizar una inversión en el orden de colocación de algunas parejas de elementos. Eso ocurrió con la pareja yodo-teluro y, más tarde, cuando se descubrió o identificó el argón en 1895, con la pareja argón-potasio. ¿Para qué se hacía esa inversión en el orden de colocación y en función de qué ley o hipótesis se hizo? ¿Cómo se justifica actualmente ese cambio de orden?

6. En libros de ciencias, cuando se habla de los modelos atómicos, podemos leer con cierta frecuencia afirmaciones como: «*la materia está vacía*». ¿Te parece correcta la frase?, ¿qué se quiere decir con ella?

7. Un isótopo de un elemento está constituido por las siguientes partículas fundamentales: 15 protones, 17 neutrones y 15 electrones.

a) ¿Cuál es su número atómico?, ¿y su número másico?

b) Identifica dicho elemento en la tabla periódica.

c) Escribe cuáles podrían ser el número atómico y el número másico de otro isótopo de ese elemento.

8. Un sistema material está constituido por las siguientes partículas fundamentales: 20 protones, 22 neutrones y 18 electrones. Indica si se trata de un átomo neutro o de un ion, así como su número atómico, su número másico y su carga eléctrica. Justifica tu respuesta.

9. Con ayuda de la tabla periódica indica:

a) ¿Cuántos electrones tienen los átomos de calcio y cloro?, ¿cuántos electrones tienen cada uno de ellos en su último nivel?

b) ¿Cuántos electrones tiene en el último nivel energético el azufre?, ¿y el potasio?

c) ¿Cuántos electrones tiene el ion sulfuro,  $\text{S}^{2-}$ ? ¿Cuántos de ellos tiene en su último nivel?

d) ¿Cuántos electrones tiene el ion potasio,  $\text{K}^+$ ? ¿Cuántos de ellos tiene en su último nivel?

e) ¿Qué electrovalencia cabe esperar que tenga cada uno de los elementos anteriores?

10. Explica por qué el espectro atómico de emisión de una sustancia es característico de ella.

11. Indica las semejanzas y diferencias entre el anión yoduro y el yodo elemental. ¿Cómo podemos justificar las diferencias que observamos entre las propiedades de ambas especies químicas?

12. Entre el sodio, el dióxido de nitrógeno, el agua y el cloruro de potasio, escoge la sustancia que consideres más representativa de:

- Una sustancia covalente con fuerzas intermoleculares intensas.
- Una sustancia covalente de muy bajo punto de fusión.
- Una sustancia sólida, no conductora de la corriente, que se hace conductora al fundirla.
- Una sustancia de alta conductividad eléctrica.

13. Escribe la fórmula, el tipo de enlace que presenta y alguna propiedad típica de las siguientes sustancias: cloruro de magnesio, yodo (sólido), cinc y dióxido de azufre (gas).

14. Indica el tipo de enlace, los electrones que intervienen en el mismo, qué átomos los aportan y la fórmula de las sustancias que se formarán al combinarse átomos de los siguientes elementos:

- Oxígeno y magnesio; b) cloro y cinc; c) flúor y carbono; d) calcio; e) bromo; f) xenón.

Dibuja las estructuras de Lewis en los casos en que sean sustancias covalentes.

A.15.- En los metales los átomos comparten electrones y decimos que estos están deslocalizados? En los no electrolitos también decimos que los átomos comparten electrones, pero ahora decimos que están localizados. ¿Qué diferencia hay entre unos y otros? ¿Cómo afecta a la conductividad de las sustancias?

A.16.- a) Escribe las ecuaciones de disociación de las siguientes sustancias: cloruro de cinc, sulfuro de hierro (III) y óxido de cloro (I).

b) ¿Qué ocurriría si se introdujesen electrodos conectados a una pila en un recipiente en el que tuviésemos esas sustancias en estado líquido? Justifica tu respuesta.

A.17.- Escribe la fórmula de las siguientes especies químicas: catión hierro (III); hidruro de litio; anión cloruro; óxido de cobre (I); amoníaco; pentacloruro de fósforo; catión aluminio; bromuro de mercurio (II); pentaóxido de dinitrógeno; ácido yodhídrico.

b) Escribe el nombre de las especies químicas cuyas fórmulas son:  $PbS$ ,  $KCl$ ,  $O^{2-}$ ,  $Ag^+$ ,  $CrO_3$ ,  $MnO_2$ ,  $H_2S$ ,  $ClF_5$ ,  $Cu^{2+}$  y  $SO_3$ .

A.18.- En este capítulo hemos hablado varias veces de la diferencia entre enunciados teóricos y enunciados que describen hechos observados experimentalmente. Indica a cuál de esos grupos corresponde cada una de los siguientes enunciados:

- Cuando aumenta la temperatura del gas contenido en un recipiente rígido, aumenta la presión que ejerce sobre las paredes del mismo.
- Cuando aumenta la temperatura del gas contenido en un recipiente, aumenta la velocidad de las moléculas que constituyen el gas.
- Los cationes y los aniones se atraen por fuerzas eléctricas debido a que tienen cargas de signos contrarios.
- Las sustancias iónicas tienen puntos de fusión y de ebullición altos.
- El núcleo del átomo está formado por protones y neutrones.
- Los electrones son los constituyentes de la corteza de un átomo.
- Los enlaces covalentes se producen al compartir electrones los átomos que enlazan.



## ACTIVIDADES DE RECUPERACIÓN

**A.1.-** Explica en cuáles de los siguientes casos existe o ha existido una reacción química. Justifica tu respuesta:  
a) Una vela encendida. b) Una carrocería de coche oxidada. c) Unas patatas que están cocándose. d) La digestión de los alimentos. e) La obtención de sal común en las salinas a partir del agua del mar. f) La electrólisis del yoduro de potasio.

**A.2.-** Indica si las siguientes expresiones son correctas o incorrectas, indicando el error en caso de que exista.

- Las sustancias puras siempre se pueden descomponer.
- En una sustancia compuesta se pueden separar al menos dos sustancias diferentes.
- Una mezcla puede ser homogénea o heterogénea.
- Si calentamos las moléculas de un gas, aumenta su presión.

**A.3.-** Si, con ayuda de una bomba, introducimos un gas en un recipiente rígido: ¿aumenta el volumen de gas?, ¿aumenta la masa de gas?, ¿aumenta la presión del gas? Explícalo atendiendo a la descripción de las observaciones y a las hipótesis de la TCM.

**A.4.-** a) Explica cómo se podría separar el oxígeno y el hidrógeno del agua.

b) El dibromo es una sustancia líquida a temperatura ambiente mientras que el magnesio es sólido a temperatura ambiente. ¿Se podrá obtener por filtración o por decantación bromo y magnesio a partir del bromuro de magnesio? Explica la respuesta.

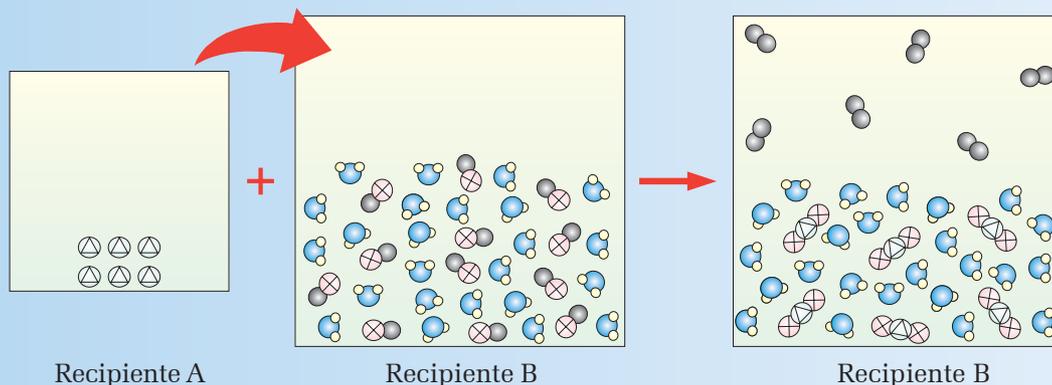
**A.5.-** En un recipiente cuyas paredes son rígidas ponemos 100 g de un gas a la temperatura de 17 °C, siendo la presión de 3,6 atm. Calentamos el recipiente de forma que al cabo de 3 minutos el gas se encuentra a la temperatura de 67 °C.

- Calcula la presión a la nueva temperatura del gas.
- Explica lo que le haya ocurrido a la presión con ayuda de la TCM.

**A.6.-** En un recipiente rígido se introduce una cantidad de gas de forma que a 27 °C la presión es de 3 atm. Dejamos que se escape la mitad del gas y se mantiene la misma temperatura.

- ¿Las moléculas que quedan en el interior al final ocuparán más, menos o el mismo volumen que las que había al principio?, ¿por qué?
- ¿La velocidad de las moléculas al final será mayor, menor o igual que al principio?, ¿por qué?
- ¿El número de golpes de las moléculas con las paredes al final será mayor, menor o igual que al principio?, ¿por qué?
- ¿La presión al final será mayor, menor o igual que al principio?, ¿por qué?

**A.7.-** En cada uno de los recipientes A y B, tenemos dos sistemas materiales distintos. Echamos el contenido de A en el recipiente B, lo cerramos y esperamos unos minutos. En la figura representamos, mediante un diagrama atómico-molecular, lo que imaginamos que ha ocurrido en ese proceso. Suponiendo que los símbolos  $\otimes$   $\otimes$   $\bullet$   $\circ$  representan átomos de diferentes elementos, justifica si las siguientes afirmaciones son o no correctas:



- a) En el recipiente A teníamos al principio una sustancia simple en estado sólido.
- b) En el recipiente B teníamos al principio una mezcla heterogénea de dos sustancias simples.
- c) En el recipiente B tenemos al final una mezcla heterogénea en la que hay una sustancia gaseosa y otras dos que, a su vez, están formando una disolución en estado líquido.
- d) El proceso representado es una reacción química.
- e) Cada una de las tres sustancias que hay al final en B es una sustancia compuesta.

**A.8.-** a) Enuncia la ley de Proust.

b) Proust encontró que la relación entre las masas de calcio y de azufre que se combinaban entre sí para dar sulfuro de calcio era 1,25. ¿Qué fórmula propondría Dalton para el sulfuro de calcio? ¿Cómo justificaría Dalton que esa relación encontrada por Proust fuese constante?

**A.9.-** Utilizando la teoría atómica y la ley de Avogadro explica por qué un litro de difluor reacciona completamente con un litro de hidrógeno y forma dos litros de fluoruro de hidrógeno, todos ellos gaseosos y medidos en las mismas condiciones de presión y temperatura.

**A.10.-** El átomo de Dalton era indivisible mientras que el de Rutherford estaba formado por núcleo y corteza. Explica, en 10 líneas como máximo, algunas experiencias o estudios que llevaron a los científicos al convencimiento de que el átomo era divisible.

**A.11.-** Describe al menos dos de las insuficiencias que presenta la tabla periódica.

**A.12.-** En la tabla se indica el número atómico (Z) y el número másico (A) de tres elementos. Escribe:

- a) El número de electrones, protones y neutrones que forman un átomo de cada uno.
- b) El número de electrones que constituyen el nivel energético más externo de cada uno.
- c) El grupo y el período de la tabla periódica en el que están.
- d) El número atómico y el número másico de un isótopo de cada uno.
- e) ¿Cómo podría tener cada uno la configuración electrónica externa de gas noble? Ese gas noble ¿estaría antes o después que el elemento en la tabla periódica?

Elemento	Z	A	protones	neutrones	electrones	electrones último nivel	grupo	período	isótopo	
									Z	A
Fósforo	15	30								
Estroncio	38	88								
Bromo	35	80								

**A.13.-** Cuando afirmamos que la densidad de las sustancias simples es una propiedad periódica ¿a qué nos referimos?

**A.14.-** En la siguiente tabla se indica el número de protones, neutrones y electrones correspondientes a varios átomos o iones:

- a) Escoge un sistema de la tabla que represente: un átomo neutro de un metal; un átomo neutro no metálico; un átomo de un gas noble; un catión; un anión.
- b) Escoge dos sistemas que representen un par de isótopos.
- c) Escribe la fórmula de las sustancias compuestas que cabe esperar que se formen cuando se combinan átomos de C y D, de E con hidrógeno y de C con oxígeno.

Partícula	A	B	C	D	E	F
Protones	3	9	12	17	17	18
Neutrones	4	10	12	18	20	22
Electrones	2	10	12	17	17	18

# 1

## LEY DE DALTON DE LAS PROPORCIONES MÚLTIPLES

Además de las leyes de Lavoisier y Proust, hubo otras leyes ponderales que jugaron un papel importante para el desarrollo de la Química y para el establecimiento de la teoría atómica. Entre ellas sobresale la ley de las proporciones múltiples.

Dicha ley fue establecida por el inglés John Dalton (1766-1844) al estudiar los óxidos de nitrógeno. Al hacerlo, encontró que la proporción entre los pesos de dióxigeno y de dinitrógeno que se combinaban para formar un óxido de nitrógeno era diferente según el tipo de óxido de nitrógeno que se formase. Así, si para el óxido de dinitrógeno era de 1,14 g de dióxigeno por cada gramo de dinitrógeno, para el monóxido de nitrógeno esa proporción era de 2,28. La proporción es distinta, lo que no debe extrañarnos por tratarse de sustancias diferentes, pero Dalton se dio cuenta de que la segunda proporción era prácticamente el doble de la primera. Al extender el estudio a otros óxidos de nitrógeno y a otras sustancias distintas encontró que, aunque las proporciones en que se combinan entre sí dos sustancias simples son diferentes para cada sustancia distinta que se forma, entre esas proporciones existe una relación dada por números sencillos. Esto le llevó a enunciar la que se conoce como **ley de las proporciones múltiples o ley de Dalton**:

Cuando dos sustancias simples se combinan, y al hacerlo pueden formar más de una sustancia compuesta, los pesos de una de ellas que se combinan con un peso fijo de la otra guardan entre sí una relación dada por números sencillos.

La idea recogida en esa ley fue importante para que Dalton elaborara la que podríamos llamar versión definitiva de su teoría atómica.



Óxidos de nitrógeno

**A.1.-** El carbono se combina con el dióxigeno para dar dos óxidos diferentes a los que llamamos monóxido de carbono y dióxido de carbono. Si se analizan varias muestras de monóxido de carbono, se ve que la proporción entre las masas de dióxigeno y carbono es siempre la misma, 1,33 g de dióxigeno por cada gramo de carbono. Si se analizan varias muestras de dióxido de carbono se encuentra que esa proporción es 2,67 g de dióxigeno por cada gramo de carbono.

a) ¿Se cumple la ley de las proporciones constantes o ley de Proust?

b) ¿Se cumple la ley de las proporciones múltiples o ley de Dalton?

Justifica tus respuestas a ambas cuestiones.

# 2

## MEDIDA DE MASAS ATÓMICAS Y MOLECULARES RELATIVAS

Dalton consideraba que cada clase de átomo tenía una masa diferente. La medida de la masa de un átomo es algo muy difícil, pero teniendo en cuenta las hipótesis de Dalton así como la ley de Proust es posible medir la masa atómica relativa, entendida como el número de veces que la masa de un átomo es mayor que la masa de un átomo de hidrógeno.

Supongamos que queremos medir la masa relativa del oxígeno. Para ello disponemos de los resultados de cuatro experiencias en las que reacciona el dihidrógeno con el dióxígeno.

<b>Masa de oxígeno (gramos)</b>	9,56	17,70	14,11	22,61
<b>Masa de hidrógeno (gramos)</b>	1,33	2,45	1,96	3,14
<b>Masa de oxígeno / Masa de hidrógeno</b>	7,19	7,22	7,20	7,20

Se comprueba la ley de Proust al ver que el cociente entre la masa del oxígeno y la del hidrógeno que reaccionan dan aproximadamente el mismo valor en todas las experiencias:

$$\frac{\text{masa de oxígeno que reacciona}}{\text{masa de hidrógeno que reacciona}} = 7,20$$

De acuerdo con las hipótesis de Dalton, se debe cumplir que:

masa de oxígeno = número de átomos de oxígeno ( $N_{\text{O}}$ ) · masa de un átomo de oxígeno ( $m_{\text{O}}$ )

masa de hidrógeno = número de átomos de hidrógeno ( $N_{\text{H}}$ ) · masa de un átomo de hidrógeno ( $m_{\text{H}}$ ).

Según la regla de máxima simplicidad, la fórmula que Dalton propuso para el agua es HO; por lo tanto, el número de átomos de oxígeno debe ser igual al número de átomos de hidrógeno que se hayan combinado entre sí. Por lo tanto,  $N_{\text{O}} = N_{\text{H}}$ . Si hacemos el cociente al que se refiere la ley de Proust:

$$\frac{\text{masa de oxígeno}}{\text{masa de hidrógeno}} = \frac{N_{\text{O}} \cdot m_{\text{O}}}{N_{\text{H}} \cdot m_{\text{H}}} = 1 \cdot \frac{m_{\text{O}}}{m_{\text{H}}} = 7,20$$

Por lo tanto, la masa de cada átomo de oxígeno era 7,2 veces la de un átomo de hidrógeno. Esa era la masa atómica relativa del oxígeno.

La primera dificultad que advertimos es que la **fórmula de la sustancia compuesto** juega un papel fundamental. Si se hubiera propuesto para el agua la fórmula  $\text{H}_2\text{O}$ , el número de átomos de hidrógeno sería doble que el número de átomos de oxígeno, de forma que podríamos escribir:

$$\frac{\text{masa de oxígeno}}{\text{masa de hidrógeno}} = \frac{N_{\text{O}} \cdot m_{\text{O}}}{N_{\text{H}} \cdot m_{\text{H}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{\text{O}}}{m_{\text{H}}} = 7,20$$

Eso modificaría el resultado, pues ahora la masa atómica del oxígeno sería igual a 14,4 veces la masa atómica del hidrógeno, es decir, que la masa atómica relativa del oxígeno sería 14,4.

**A.1.-** Hoy sabemos que la masa atómica relativa del oxígeno es 16. ¿Cuál debería ser el valor de la constante que se obtiene aplicando la ley de Proust a la reacción entre el oxígeno y el hidrógeno? ¿Crees que con el material de laboratorio del siglo XIX era fácil obtener ese valor?

**A.2.-** El hierro no reacciona con el hidrógeno pero si lo hace con el oxígeno. Calcula la masa atómica relativa del hierro sabiendo que la proporción entre las masas de hierro y oxígeno que reaccionan para formar monóxido de hierro es 3,5. Ten en cuenta que la masa atómica del oxígeno es 16.



Tubo donde se realiza la síntesis del agua.

molecular relativa de aquellas sustancias que podamos manipular con facilidad en estado gaseoso. Veamos un ejemplo:

Cálculo de la masa molecular relativa del dióxido de carbono a partir de los siguientes datos: 1 L de dióxido de carbono (a 0 °C y 1 atm) tiene una masa de 1,96 g. 1 L de hidrógeno en las mismas condiciones tiene una masa de 0,0893 g.

Puesto que se trata de un litro en ambos casos, el número de moléculas ( $N$ ) que hay en cada recipiente será el mismo. Si llamamos  $m_{\text{CO}_2}$  a la masa de una molécula de dióxido de carbono y  $m_{\text{H}_2}$  a la masa de una molécula de hidrógeno, podemos escribir:

Si aproximamos, la masa molecular de una molécula de dióxido de carbono es de 22 veces la de una molécula de hidrógeno. Como la de una molécula de hidrógeno es el doble que la de un átomo de hidrógeno, podemos decir que la masa de una molécula de dióxido de carbono es de 44 veces la de un átomo de hidrógeno. Por lo tanto, la masa molecular relativa del dióxido de carbono es 44.

**A.3.-** Calcula la masa molecular relativa del amoníaco sabiendo que 1 L de dicho gas en condiciones normales tiene una masa de 0,759 g.

## 3

## NÚMERO MÁSCICO Y MASA ATÓMICA RELATIVA

Todos los elementos tienen varios isótopos, que son átomos de igual número atómico y diferente número másico. Puesto que las propiedades químicas de los isótopos de un mismo elemento son prácticamente idénticas, cuando participan en reacciones químicas todos los isótopos lo hacen de la misma forma. Cuando se calcula la masa atómica de un elemento a partir de las reacciones químicas, se obtiene un valor que no corresponde a ninguno de los isótopos en particular sino a la mezcla de todos ellos. Es lo que se conoce como **masa atómica media**, y es el número que aparece en la tabla periódica como masa atómica.

**A.1.- a)** Existen dos isótopos del cloro en la naturaleza: el Cl-35 cuya abundancia relativa es del 75,8% y el Cl-37 cuya abundancia es del 24,2%. Calcula la masa atómica media del cloro.

b) Se encuentran tres isótopos del magnesio: el Mg-24 cuya abundancia es del 78,6%, el Mg-25 que está en un 10,1% y el Mg-26 que se encuentra en un 11,3%. Calcula la masa atómica media del magnesio.

**A.2.-** El número atómico del uranio es 92, siendo 235 y 238 los números másicos de dos de sus isótopos más frecuentes. Calcula el número de protones y neutrones que, en cada caso, hay en el núcleo. Si el isótopo U-235 se encuentra en un 0,7% y el U-238 en un 99,3% en la Naturaleza ¿cuál es la masa atómica media del uranio?

**A.3.-** Un isótopo del hierro tiene de número másico 58. ¿Cuántos protones, neutrones y electrones tiene un átomo de ese isótopo en estado normal? Sabemos que la masa atómica relativa del hierro es 55,85 y nos dicen que el hierro se presenta en la Naturaleza constituyendo mezclas formadas por dos isótopos, de números másicos 55 y 58, ¿en qué proporción deben encontrarse ambos isótopos para justificar esa masa atómica relativa?

# Capítulo 2

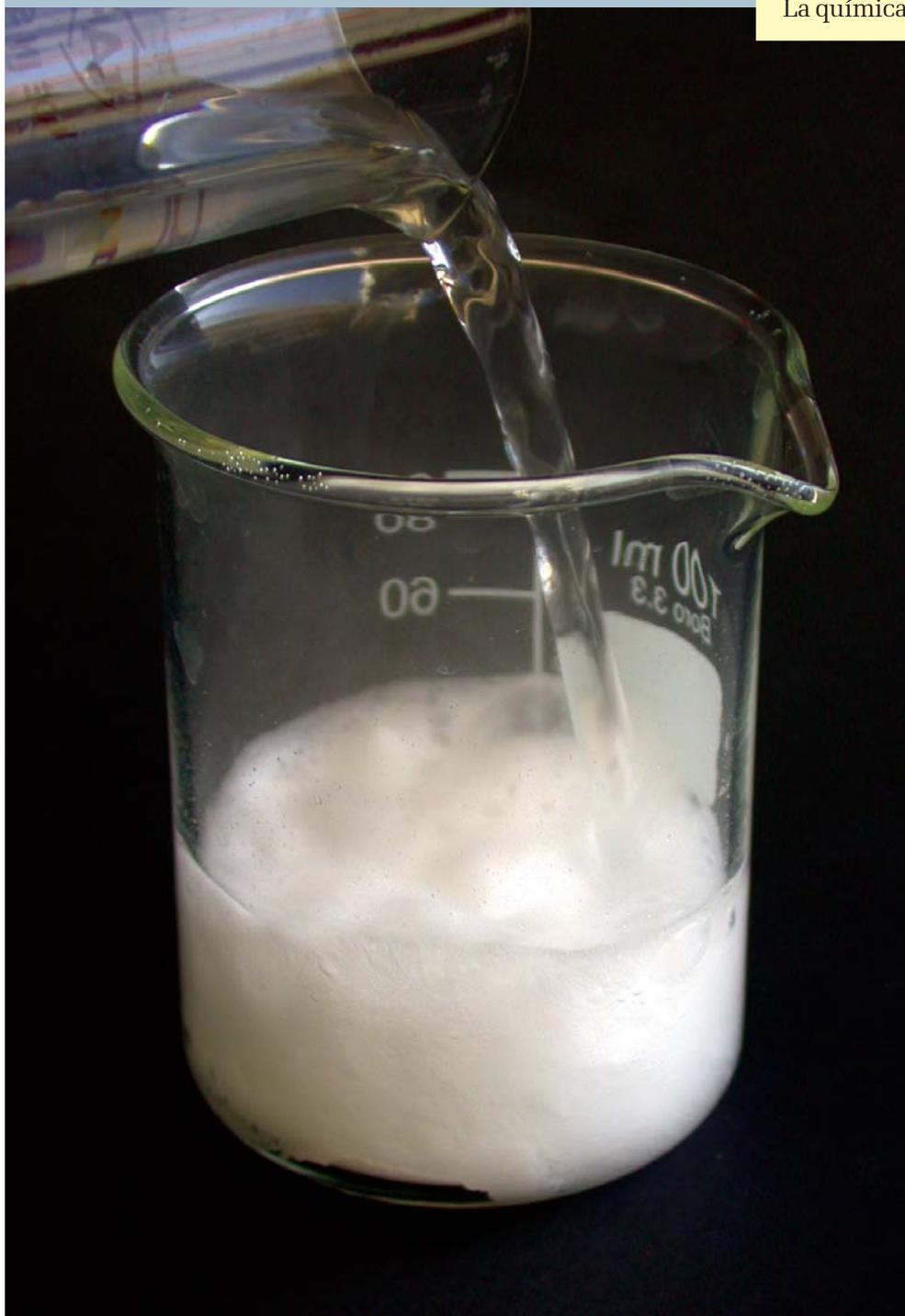
## Contenido

Unidad 1

La reacción química

Unidad 2

La química del carbono



# Procesos químicos

«Como la mayoría de los químicos de su tiempo (Berzelius)... pensaba que los productos del organismo viviente estaban controlados por una especial «fuerza vital». Este punto de vista... recibió su mayor golpe en 1828, cuando Friedrich Wöhler descubrió que el isocianato amónico se podía transformar en urea».

H.M.Leicester «Panorama histórico de la química» (1967)

## ¿Qué trabajaremos?

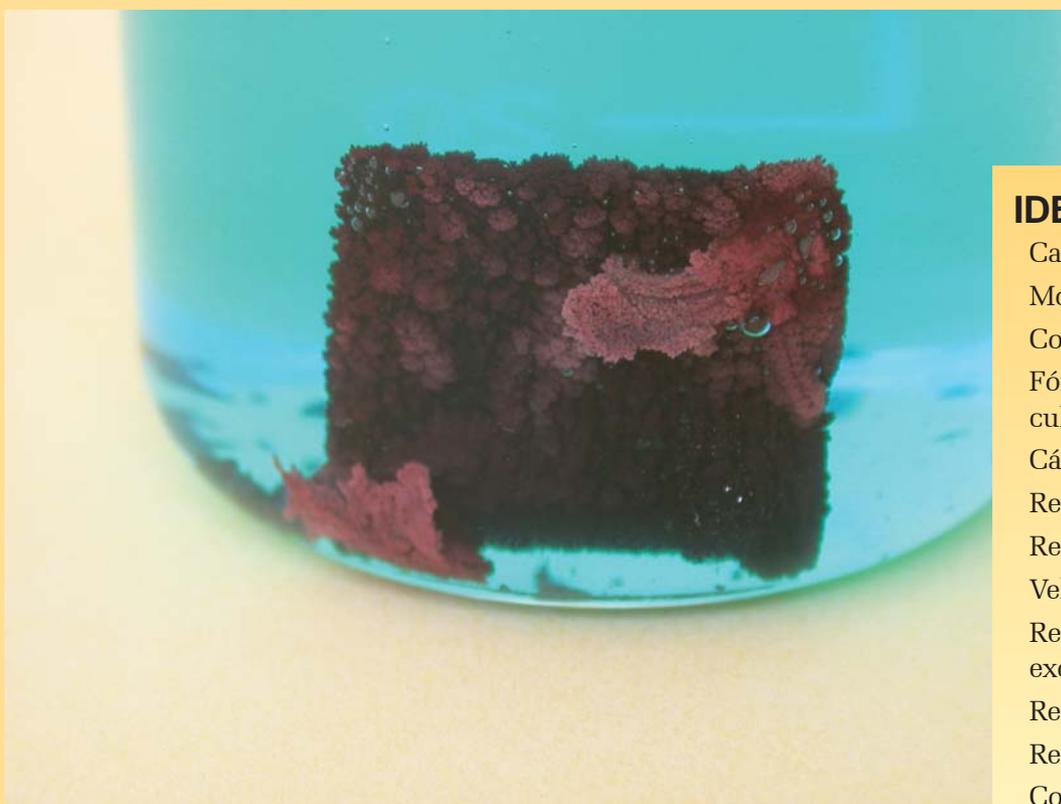
Dedicamos este capítulo al estudio de algunas reacciones químicas de especial interés por sus aplicaciones en la vida actual (combustiones, reacciones ácido-base, etc.). Es el momento de analizarlas no sólo desde un punto de vista descriptivo sino también desde un punto de vista cuantitativo, introduciendo conceptos como el de mol, haciendo cálculos sobre la proporción en que se combinan las diversas sustancias, sobre los intercambios de energía que se producen en ellas, etc. Además se pretende ir sistematizando las informaciones que podamos obtener sobre el comportamiento químico de las sustancias, de identificar grupos de ellas (ácidos, bases, sales ...).

La primera unidad se dedica al estudio de las reacciones químicas en general, mientras que en la segunda se recogen los aspectos característicos de las llamadas sustancias orgánicas.



# 1

# LA REACCIÓN QUÍMICA



## IDEAS PRINCIPALES

- Cantidad de sustancia. Mol
- Molaridad
- Composición centesimal
- Fórmulas empíricas y moleculares
- Cálculos estequiométricos
- Reactivo limitante
- Rendimiento
- Velocidad de reacción
- Reacciones endo y exotérmicas
- Reacciones de precipitación
- Reacciones ácido-base
- Concepto de pH
- Reacciones redox
- Número de oxidación

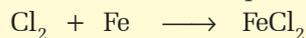
Hasta ahora se han estudiado cuestiones como las leyes de los gases, la concentración de las disoluciones, etc., en las que teníamos que hacer cálculos sencillos. La introducción del concepto de mol, uno de los más importantes en química, obliga a revisar y ampliar lo estudiado, contando con las posibilidades que ofrece el uso de ese concepto para expresar las proporciones en que se combinan las distintas sustancias en una reacción química. Además tendremos ocasión de hacer un análisis de los intercambios energéticos que se producen en algunas reacciones y su velocidad, finalizando con un estudio más detallado del agua, las disoluciones, ácidos, bases, etc.

# 1

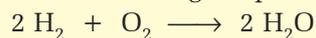
## EL CONCEPTO DE MOL

En Química interesa a veces saber la cantidad que se necesita de un reactivo; en otras ocasiones se quiere predecir la cantidad de producto que se obtendrá, etc. Todos esos cálculos pueden hacerse utilizando las unidades de masa que ya conoces, el kilogramo o cualquiera de sus múltiplos y/o submúltiplos. Pero se utiliza otra unidad para medir la **cantidad de sustancia** que interviene en una reacción, el **mol**; vamos a intentar que entiendas su significado y sepas emplearla adecuadamente.

**A.1.-** a) El dicloro reacciona con el hierro para formar dicloruro de hierro:



b) El dihidrógeno reacciona con dióxígeno para formar agua:



Explica detenidamente lo que hemos representado con las ecuaciones anteriores. ¿Qué cambios serían necesarios introducir si escribiésemos 84 delante del dicloro o 40 delante del dihidrógeno?

Es interesante medir la cantidad de sustancia que reacciona por el número de moléculas (o de átomos o de iones) que intervienen ya que el número de moléculas de sustancias diferentes que participan en una misma reacción guardan entre sí una relación sencilla. Una molécula o un átomo son entes muy pequeños y en cualquier reacción intervienen muchos millones. Por ello, cuando queremos describir el número de moléculas o átomos que participan en una reacción química que se lleva a cabo a escala macroscópica, se utiliza la **constante de Avogadro**, conocida antes como número de Avogadro.

La **constante de Avogadro**,  $N_A$ , es igual a  $6,022 \cdot 10^{23}$

Fíjate que ahora podemos decir:

$1 N_A$  de átomos de hierro reaccionan con  $1 N_A$  de moléculas de dicloro.

$2 N_A$  de moléculas de dihidrógeno reaccionan con  $1 N_A$  de moléculas de dióxígeno.

La unidad de **cantidad de sustancia** se llama **mol**, que es la cantidad de sustancia que hay en un número de Avogadro de las partículas que estemos considerando.

Cuando se utiliza el mol, las entidades elementales deben especificarse y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de otras partículas.

### Definición IUPAC del mol

La unidad de **cantidad de sustancia** se llama **mol**, que es la cantidad de sustancia de un sistema que tiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg de carbono-12.

**A.2.-** a) Los científicos habían establecido la relación entre las masas atómicas relativas; sabían que la masa atómica relativa del calcio era 40 mientras que la del hierro era 56. Si en 40 g de calcio hay  $N$  átomos de calcio, ¿cuántos átomos de hierro habrá en 56 g de hierro? Expresa el resultado en función de  $N$ .

b) De igual forma los científicos conocían las masas moleculares relativas. Así, la masa molecular relativa del dicloro es 71 y del dióxígeno 32. Si en 71 g de dicloro hay  $N$  moléculas de dicloro, ¿cuántas moléculas de dióxígeno hay en 32 g de dióxígeno? Expresa el resultado en función de  $N$ .

En la actividad anterior hemos puesto de manifiesto que en un número de gramos igual al valor de la masa atómica relativa de diferentes sustancias hay el mismo número de átomos. Lo mismo ocurre si tomamos cantidades iguales al valor de la masa molecular relativa.

¿Por qué la constante de Avogadro es un número tan raro? Los científicos pusieron como condición a la hora de definir el mol que la masa de sustancia que hubiese en un mol de esa sustancia fuese un número de gramos igual a su masa atómica o molecular relativa. Establecida esa condición sabían que en todos los moles habría el mismo número de partículas, pero no sabían cuál era ese número.

La **constante de Avogadro** se determinó experimentalmente de manera que la masa de ese número de átomos o de moléculas de una sustancia coincidiese con un número de gramos igual a la masa atómica o molecular relativa de esa sustancia.

De acuerdo con lo que hemos descrito podemos decir:

- \* La masa de 1 mol de átomos de hidrógeno es 1 gramo.
- \* La masa de 1 mol de moléculas de dihidrógeno es 2 gramos.
- \* La masa de 1 mol de átomos de magnesio es 24,31 gramos.

Cuando se trata de una sustancia formada por iones no es correcto hablar de moléculas, pero sí se puede hablar de moles de esa sustancia. En este caso, la «partícula» a la que se refiere la definición de mol es la formada por los iones de cada clase que nos indica la fórmula de esa sustancia. Para diferenciarla de las verdaderas moléculas, llamaremos a esa partícula «**unidad fórmula**».

En el cloruro de sodio, NaCl, la unidad fórmula sería la formada por un ion sodio y un ion cloruro. En el dicloruro de calcio, CaCl<sub>2</sub>, la unidad fórmula sería la formada por un ion calcio y dos iones cloruro. En el trióxido de dialuminio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, la unidad fórmula sería la formada por dos iones aluminio y tres iones óxido.

Por lo tanto, es correcto decir:

- \* La masa de 1 mol de unidades fórmula de cloruro de sodio es 58,5 g.
- \* La masa de 1 mol de unidades fórmula de dicloruro de calcio es 111 g.
- \* La masa de 1 mol de unidades fórmula de óxido de aluminio es 102 g.



## 2.1

Haz clic en «Entrar». Puedes hacer los ejercicios que se incluyen en el apartado moles y disoluciones.



## 2.2

Puedes seleccionar la masa de uno de los cuatro metales que se presentan y la simulación te da el número de moles y número de átomos que hay en esa cantidad.



1 mol de átomos de hierro, 1 mol de unidades fórmula de cloruro de sodio, 1 mol de moléculas de agua y 1 mol de átomos de azufre

Llamamos **masa molar,  $M$** , de una especie química a la masa de una constante de Avogadro de las «partículas» elementales que componen dicha especie, que pueden ser moléculas, átomos, iones o unidades fórmula, en el caso de una sustancia iónica. Su unidad en el SI es el kilogramo/mol, aunque frecuentemente se expresa en gramos/mol.

Si queremos calcular la cantidad de sustancia,  $n$ , que hay en  $m$  gramos de esa sustancia podremos usar la siguiente expresión:

$$n = \frac{m}{M}$$

El número de moléculas o de unidades fórmula,  $N$ , que hay en un determinado número de moles se puede calcular con la expresión:

$$N = n N_A$$

### MOL O MOLES

En castellano coincide el nombre de la unidad de cantidad de sustancia y el símbolo que representa a esa unidad: mol.

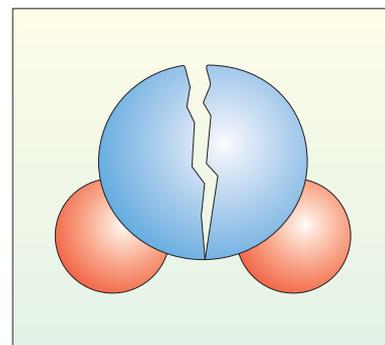
Moles es el plural de la palabra mol, pero sólo se emplea cuando se refiere al nombre de la unidad porque los símbolos no tienen plural.

P

**A.3.-** a) ¿Cuántas moléculas de agua hay en un mol de moléculas de agua?, ¿y en 12,7 moles?, ¿y en 0,02 moles?

b) ¿Qué diferencia hay entre 1 mol de átomos de oxígeno y 1 mol de moléculas de dióxígeno?

c) ¿Tiene sentido hablar de media molécula?, ¿y de medio mol?



### EJEMPLO

a) ¿Qué cantidad de sustancia hay en 14,82 g de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )?, ¿cuántas moléculas de dióxido de azufre hay en esos 14,82 g? ¿Cuántos átomos de azufre y cuántos de oxígeno hay?

b) ¿Qué cantidad de sustancia hay en 14,82 g de sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ )?, ¿cuántos iones sodio y cuántos iones sulfuro hay en esos 14,82 g?

a) En primer lugar calculamos la masa molecular relativa del dióxido de azufre:  $32 + 2 \cdot 16 = 64$ . Por lo tanto, la masa molar del dióxido de azufre es 64 g/mol. Podemos calcular la cantidad de sustancia como sigue:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{14,82}{64} = 0,232 \text{ moles de moléculas de } \text{SO}_2$$

Para calcular el número de moléculas debemos tener en cuenta que en cada mol hay  $N_A$  moléculas. Así que en este caso:

$$N_{\text{SO}_2} = 0,232 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,4 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}$$

Para calcular el número de átomos de cada clase se debe tener en cuenta que en cada molécula de dióxido de azufre hay un átomo de azufre y dos de oxígeno.

$$N_{\text{S}} = 1 \cdot 1,4 \cdot 10^{23} = 1,4 \cdot 10^{23} \text{ átomos}$$

$$N_{\text{O}} = 2 \cdot 1,4 \cdot 10^{23} = 2,8 \cdot 10^{23} \text{ átomos}$$

b) La manera de proceder en el caso del  $\text{Na}_2\text{S}$  es similar. Puesto que se trata de una sustancia con enlace iónico, no podemos hablar de moléculas. Para calcular la masa molar consideraremos como «molécula» a una hipotética agrupación de partículas indicada por su fórmula. Puesto que la masa atómica relativa del sodio es 23 y la del azufre 32, la masa molar del sulfuro de sodio es:  $2 \cdot 23 + 32 = 78$  g/mol. Calculamos la cantidad de sustancia como sigue:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{14,82}{78} = 0,19 \text{ moles de unidades fórmula de } \text{Na}_2\text{S}$$

Para calcular el número de iones de cada clase se debe tener en cuenta la constante de Avogadro, y el número de iones presentes en cada «unidad fórmula».

$$N_{\text{Na}^+} = 0,19 \cdot 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 2,29 \cdot 10^{23} \text{ iones}$$

$$N_{\text{S}^{2-}} = 0,19 \cdot 1 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,14 \cdot 10^{23} \text{ iones}$$

P

**A.4.-** a) ¿Qué cantidad de sustancia hay en 27 g de cloruro de calcio?  
 b) ¿Cuántas moléculas hay en 1 mg de agua? ¿Y en 0,25 mol de moléculas de metano, CH<sub>4</sub>? ¿Cuántos átomos hay en cada uno de los dos casos anteriores?  
 c) Calcula la masa, en unidades del SI, de una molécula de dióxigeno.

P

**A.5.-** Teniendo en cuenta las diferencias que existen entre las sustancias moleculares y las iónicas, y si entendemos por partícula la agrupación de átomos que corresponde a la molécula o a cada ion, clasifica de mayor a menor, por el número de partículas, los siguientes sistemas: 16 g de dióxigeno; 11 g de dióxido de carbono; 0,5 mol de unidades fórmula de cloruro de hierro (III) y 0,05 mol de átomos de hierro.

El mol es la unidad en el SI de la magnitud cantidad de sustancia. A partir de ahora utilizaremos el mol cuando tengamos que realizar cálculos relacionados con la cantidad de sustancia. A continuación lo vamos a emplear en la ecuación general de los gases y en el cálculo de la concentración de las disoluciones.

## 1.1 La ecuación general de los gases perfectos

La ley de Avogadro establece que en volúmenes iguales de cualquier gas hay el mismo número de moléculas, siempre que estén en las mismas condiciones de presión y temperatura. Eso supone que el mismo número de moléculas de cualquier gas ocupa siempre el mismo volumen, independiente del gas de que se trate, siempre que estén en las mismas condiciones de presión y temperatura. Puesto que en un mol de cualquier gas hay siempre el mismo número de moléculas,  $6,02 \cdot 10^{23}$ , un mol de cualquier gas ocupa el mismo volumen. A ese volumen se le llama **volumen molar de los gases**. Experimentalmente se ha comprobado que:

El volumen ocupado por un mol de cualquier sustancia en estado gaseoso, a una temperatura de 273 K y una presión de 1 atm (condiciones normales), es aproximadamente de 22,4 L.

### VOLUMEN MOLAR

El concepto de volumen molar se puede aplicar a cualquier sustancia, esté en estado sólido, líquido o gaseoso, pero sólo en el caso de los gases no depende de qué sustancia sea.

El volumen molar de un gas ideal en condiciones normales es una constante:

$$V_m = 22,4 \text{ L/mol}$$

En el capítulo anterior vimos que los gases cumplen la ecuación:  $\frac{pV}{T} = cte$

P

La constante depende sólo de la cantidad de gas. Si tenemos 1 mol de gas en un recipiente cerrado en condiciones normales de presión y temperatura, el valor de la constante podemos calcularlo a partir del volumen molar de un gas en condiciones normales:

$$\frac{pV}{T} = \frac{1 \cdot 22,4}{273} = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

El valor 0,082 (atm·L)/(K·mol) se ha simbolizado con la letra *R*.

Si tenemos encerrado 2 moles de gas el valor de la constante sería el doble, es decir, 2 *R*. Si tenemos *n* moles, la constante valdrá *nR*, por lo que podremos escribir la ecuación general de los gases perfectos de la forma:

$$pV = nRT$$

Al aplicar la ecuación anterior hay que tener en cuenta las unidades de *R*. Si utilizamos el calculado, la unidad de la presión debe ser la atmósfera y el litro la del volumen.

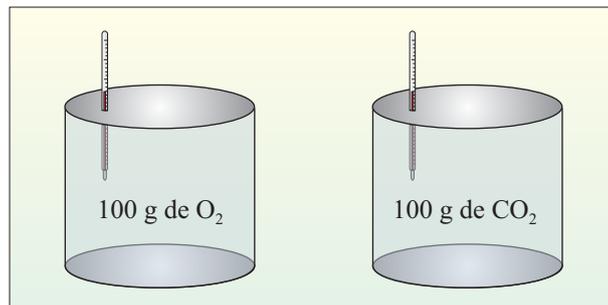


En esta garrafa de 25 litros «cabe» poco más de 1 mol de una sustancia gaseosa (a 1 atm y 20 °C).

**A.6.-** a) Tenemos un mol de hidrógeno a 0 °C y 1 atm. ¿Qué volumen ocupa en esas condiciones? ¿Qué volumen ocuparía un mol de dióxido de carbono en las mismas condiciones? Justifica tu respuesta.

b) En un recipiente rígido de 4 L tenemos 2 mol de moléculas de dióxido de carbono a 47 °C. Calcula la presión en el recipiente. Si tuviésemos 2 mol de moléculas de dinitrógeno en las mismas condiciones, ¿cuál sería la presión? Justifica tu respuesta.

**P** **A.7.-** Tenemos dos recipientes de la misma capacidad, como muestra la figura de la derecha. En uno de ellos encerramos 100 g de dióxido de carbono. En el segundo ponemos 100 g de dióxido de carbono. El termómetro marca en ambos casos la misma temperatura. ¿En cuál de los dos recipientes la presión será mayor? ¿Por qué?



### EJEMPLO

Calcula la presión que existe en un recipiente rígido de 10 L en el que hay 200 g de amoníaco,  $\text{NH}_3$ , si la temperatura a la que está es de 20 °C.

Puesto que se trata de una sustancia en estado gaseoso se puede aplicar la ecuación general de los gases perfectos. Es necesario conocer la cantidad de sustancia, que en este caso es:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{200}{17} = 11,76 \text{ moles de amoníaco}$$

La sustancia ocupa totalmente el volumen del recipiente,  $V = 10 \text{ L}$ . La temperatura es  $T = 273 + 20 = 293 \text{ K}$ .

La presión es:

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{11,76 \cdot 0,082 \cdot 293}{10} = 28,25 \text{ atm}$$

Aunque puede parecer un valor muy alto, debes tener en cuenta que 200 g son más de 11 mol de moléculas de amoníaco, que si el gas estuviera en condiciones normales, ocuparía más de 250 L. Si queremos que ocupe sólo 10 L deberemos comprimir bastante al gas, de ahí que la presión sea de más de 28 atm.

**P** **A.8.-** Tenemos 90 g de agua líquida a 25 °C. La calentamos hasta que hierve y llega a una temperatura de 227 °C y una presión de 2 atm. ¿Qué volumen ocupa el agua cuando está líquida y cuando está en estado gaseoso?

**P** **A.9.-** El carbonato de calcio se descompone, al calentarlo, en óxido de calcio y dióxido de carbono. Si descomponemos 100 g de carbonato de calcio y los productos obtenidos los enfriamos hasta que están en condiciones normales, ¿cuál será el volumen obtenido de óxido de calcio y de dióxido de carbono?

La ecuación química es:  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \longrightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

## 1.2 El mol y la concentración de las disoluciones: Molaridad

También es importante el concepto de mol a la hora de expresar la concentración de las disoluciones. Comenzaremos recordando el significado de disolución, soluto, disolvente y concentración.

- A.10.-** a) ¿Qué es una disolución? ¿A qué llamamos soluto y disolvente?  
 b) ¿A qué llamamos concentración de una disolución?  
 c) ¿Qué significa que la concentración de una disolución sea de 40 g/L?  
 d) En un recipiente tenemos 500 cm<sup>3</sup> de una disolución de sal común cuya concentración es de 20 g/L. Tomamos 100 mL de ella y los ponemos en otro recipiente, dejando los 400 mL restantes en el recipiente original. ¿En cuál de ellos es mayor la concentración? ¿En cuál de ellos es mayor la cantidad de soluto?

Dado que la cantidad de sustancia se mide en moles, otra forma de expresar la concentración de una disolución es indicar la cantidad de sustancia de soluto,  $n_s$ , que hay por cada litro de disolución. Esta forma de expresar la concentración de una disolución se llama **molaridad, c**. Para calcularla se utiliza la expresión:

$$c = \frac{n_s}{V}$$

En la expresión anterior,  $n_s$  representa el número de moles de soluto y  $V$  el volumen que ocupa la disolución, expresado en litros.

La unidad de molaridad es el mol en cada litro de disolución, utilizándose como símbolo mol/L o M, y se lee «mol por litro» o molar. Para representar la concentración molar de una determinada sustancia se utiliza, a veces, la fórmula de esa sustancia escrita entre corchetes. Por ejemplo, si se disuelven 0,2 mol de hidróxido de sodio en agua hasta que la disolución ocupe un volumen de 1 L, la molaridad es 0,2 moles por litro, o 0,2 molar. Escrito mediante símbolos lo representaremos como sigue:

$$c_{\text{NaOH}} \equiv [\text{NaOH}] = 0,2 \text{ mol/L} \equiv 0,2 \text{ M}$$

## EJEMPLO

¿Qué masa de sulfato de potasio,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , será necesaria disolver para obtener 400 mL de disolución 0,2 M? ¿Se necesitaría la misma masa si el soluto fuese cloruro de sodio?

Calculamos la cantidad de sustancia de soluto con la expresión de la molaridad:

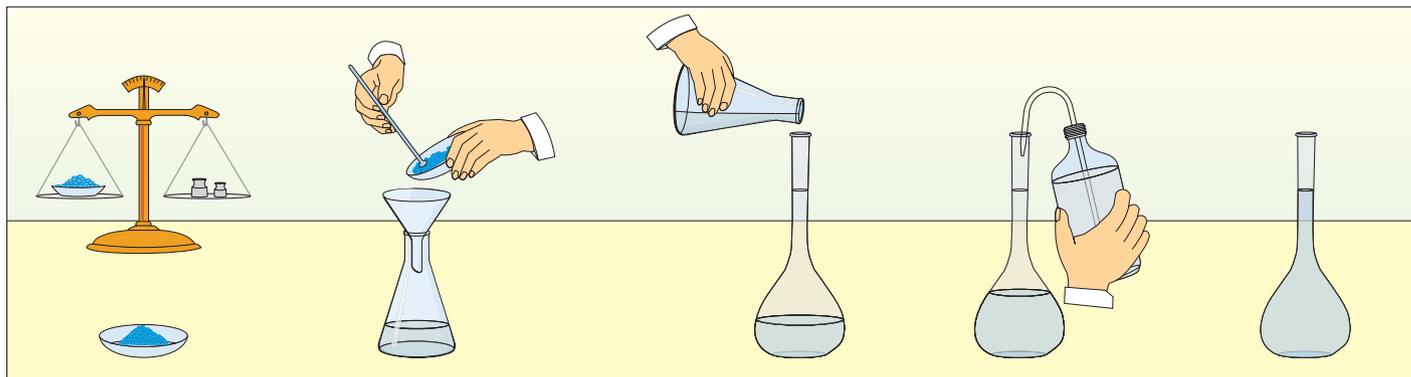
$$0,2 = \frac{n_s}{0,4}; \quad n_s = 0,2 \cdot 0,4 = 0,08 \text{ mol}$$

La masa molar del sulfato de potasio es:  $M = 2 \cdot 39,1 + 1 \cdot 32 + 4 \cdot 16 = 174,2 \text{ g/mol}$ .

Por lo tanto, la masa de sulfato de potasio necesaria para preparar esa disolución es:

$$m_s = n_s \cdot M = 0,08 \cdot 174,2 = 13,94 \text{ g}$$

Si el soluto fuese cloruro de sodio sería necesaria la misma cantidad de sustancia, 0,08 mol de cloruro de sodio, pero como la masa molar del cloruro de sodio es menor que la del sulfato de potasio, sería necesario menos masa de cloruro de sodio que de sulfato de potasio.



P

**A.11.-** a) ¿Qué cantidad de sustancia de soluto hay en 2 L de una disolución 0,4 M?, ¿y en 0,5 L de la misma disolución?

b) ¿Cuál será la molaridad de una disolución que contiene 0,02 mol de soluto en 100 mL de disolución?

c) Calcula qué cantidad de sustancia de soluto será necesaria para tener 250 mL de una disolución 2 M de un compuesto cualquiera.

d) ¿Qué diferencia existe entre las expresiones «1 mol» y «1 molar»?

P

**A.12.-** Disolvemos 10 g de hidróxido de sodio en agua hasta un volumen de 250 mL, ¿cuál es la molaridad de la disolución? Tomamos 100 mL de esa disolución, ¿qué valor tiene ahora la molaridad? Evaporamos parte del agua, de forma que el volumen de los 100 mL se reduce a 25 mL, ¿cuál es la molaridad?

**A.13.-** a) Realiza los cálculos oportunos y describe detalladamente cómo deberíamos proceder para preparar 250 mL de una disolución 0,2 M de carbonato de sodio.

b) Si necesitamos 82 mL de una disolución de concentración conocida deberemos preparar 100 mL. ¿A qué crees que será debido?

AC

AC

## 2

## COMPOSICIÓN CENTESIMAL. FÓRMULAS EMPÍRICA Y MOLECULAR

Un problema importante para los químicos ha sido siempre determinar las fórmulas de las sustancias. En la primera mitad del siglo XIX, una vez propuesta la teoría atómica de Dalton, los químicos más importantes entre los que destacaba Berzelius, propusieron fórmulas para las diferentes sustancias, fórmulas que no siempre coincidían. Debemos tener en cuenta, que en aquella época, la cuestión era aún más complicada pues no se conocían con exactitud las masas atómicas y moleculares de átomos y moléculas respectivamente.

El problema de determinar la fórmula de una sustancia se sigue planteando cada vez que se sintetiza una nueva sustancia. La determinación de la fórmula exige conocer los elementos que forman esa sustancia y la proporción en la que se encuentran, es decir, lo que se llama la **fórmula empírica**, y además conocer el número de átomos de cada clase que hay en cada unidad estructural del compuesto para poder escribir lo que se llama la **fórmula molecular**. Se debe tener en cuenta que una misma fórmula empírica puede corresponder a varias sustancias diferentes, por lo que es necesario conocer la fórmula molecular si queremos conocer una sustancia. Por ejemplo, la misma fórmula empírica CH puede corresponder a sustancias diferentes como el acetileno y el benceno, cuyas fórmulas moleculares son  $C_2H_2$  y  $C_6H_6$ .

En realidad es aún más complicado, pues la misma fórmula molecular puede corresponder también a diferentes sustancias, cuyas estructuras moleculares sean distintas, hecho conocido como isomería.

El primer paso para determinar la fórmula es conocer la composición centesimal de una sustancia. La composición centesimal informa del porcentaje en masa de cada clase de átomos que forman un determinado compuesto. Así, si decimos que un com-



Estatua dedicada a Berzelius en un parque de Estocolmo. Berzelius introdujo una formulación química similar a la actual.

puesto está formado por el 92,3 % de carbono y el 7,7 % de hidrógeno queremos decir que de cada 100 g de ese compuesto, 92,3 g sería la masa de los átomos de carbono y 7,7 g sería la masa de los átomos de hidrógeno. Puesto que se trata de un porcentaje, lo anterior también sería válido si lo referimos a 100 kg de compuesto, o a 100 unidades atómicas de masa.

P

**A.14.-** a) Analizada una muestra de 14 g de un compuesto se obtuvo que 2 g correspondían a los átomos de hidrógeno y 12 g a los de carbono. Calcula la composición centesimal de ese compuesto.

b) Calcula la composición centesimal del óxido de hierro (III), conocida la fórmula,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , y las masas atómicas del hierro y del oxígeno.

Conocida la composición centesimal de un compuesto se puede calcular su fórmula empírica.

### EJEMPLO

Sabiendo que la composición centesimal de un compuesto es 14,29 % de hidrógeno y 85,71 % de carbono, determina su fórmula empírica.

Puesto que se trata de establecer la proporción entre los átomos de carbono y de hidrógeno, podemos suponer que tenemos cualquier cantidad de esa sustancia. Supongamos que tenemos 100 g, de los que 14,29 g corresponden a los átomos de hidrógeno y 85,71 g corresponden a los átomos de carbono. Teniendo en cuenta las masas molares del carbono y del hidrógeno, la cantidad de sustancia de cada clase sería:

$$n_{\text{H}} = 14,29/1 = 14,29 \text{ mol de átomos de hidrógeno}$$

$$n_{\text{C}} = 85,71/12 = 7,14 \text{ mol de átomos de carbono}$$

Como en cada mol hay siempre el mismo número de átomos, las cifras anteriores suponen la relación existente entre el número de átomos de carbono e hidrógeno. Por tanto, una posible fórmula empírica sería:  $\text{C}_{7,14}\text{H}_{14,29}$ . Puesto que lo que nos interesa es la proporción entre los átomos, parece aconsejable escribir la misma proporción con los números más sencillos posibles. Para ello, podemos dividir ambos subíndices por el número más pequeño, 7,14 en este caso, y obtendríamos que la fórmula sería:  $\text{C}_1\text{H}_2$  o  $\text{CH}_2$ , que nos indica que la proporción es de 2 átomos de hidrógeno por cada átomo de carbono en este compuesto.

Para poder calcular la fórmula molecular que corresponde a un compuesto determinado necesitamos conocer además de la fórmula empírica su masa molar. La masa molar se puede determinar experimentalmente por procedimientos relativamente sencillos, que no estudiaremos en este curso. Supongamos que hemos determinado la fórmula empírica y la masa molar; para determinar la fórmula molecular procederemos como en el ejemplo siguiente.

### EJEMPLO

La fórmula empírica de un compuesto es  $\text{CH}_2$ . Halla su fórmula molecular si su masa molar es 56 g/mol.

Si la fórmula empírica es  $\text{CH}_2$ , la fórmula molecular debe mantener la misma proporción entre los átomos de carbono y de hidrógeno, por lo que podríamos escribirla de forma genérica como  $(\text{CH}_2)_x$ . El problema consiste en hallar x.

Puesto que la masa molar es 56 g/mol, la masa molecular relativa es 56. Teniendo en cuenta las masas atómicas relativas del átomo de carbono y del átomo de hidrógeno podremos escribir:

$$56 = (12 + 2 \cdot 1) x; \quad x = 4$$

La fórmula molecular será  $(\text{CH}_2)_4$ , que la podemos escribir también como  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

**A.15.-** a) Escribe la fórmula molecular de una sustancia cuya composición centesimal es 5,88 % de hidrógeno y 94,12 % de oxígeno. La masa molar de la misma es 34 g/mol.

b) Escribe la fórmula molecular de una sustancia cuya composición centesimal es 32,39 % de sodio, 22,54 % de azufre y 45,07 % de oxígeno. La masa molar de esa sustancia es 142 g/mol.

c) Al calentar 0,500 g de limaduras de hierro en corriente de cloro gaseoso se obtuvieron 1,452 g de un cloruro de hierro. Calcula la fórmula empírica del cloruro de hierro.

d) Pesamos 2,00 g de sulfato de cinc hidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ). Después de calentar para separar el agua, la muestra anhidra pesa 1,12 g. Calcula cuántas moléculas de agua hay por cada unidad fórmula de sulfato de cinc.

### 3

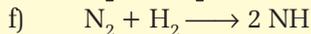
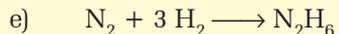
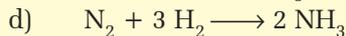
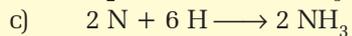
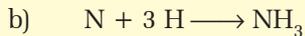
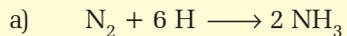
## CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS

Con el nombre de **estequiometría** nos referimos a las relaciones entre las cantidades de sustancia, de masa y de volumen de los reactivos y productos de una reacción química. Su cálculo es fundamental en la industria y en el análisis químico.

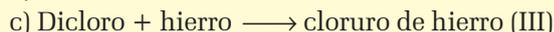
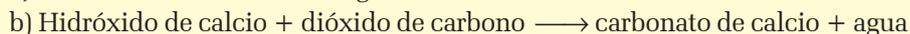
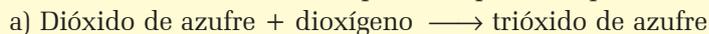
Se llaman **cálculos estequiométricos** a los procedimientos que se utilizan para calcular las cantidades de reactivos y/o productos que intervienen en una reacción química, conocidos otros datos que se refieren a las otras sustancias que intervienen en la reacción.

**A.16.-** Observa el proceso que ocurre al añadir ácido clorhídrico, HCl, al cinc, Zn. Explica el proceso y represéntalo con los símbolos adecuados.

**A.17.-** El dinitrógeno reacciona con mucha dificultad con el hidrógeno. Si calentamos enérgicamente y aumentamos la presión, conseguimos que reaccionen para dar amoníaco. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones químicas te parece correcta para explicar el proceso? Explica los errores cometidos en las otras.



**A.18.-** Escribe las ecuaciones químicas que corresponden a las reacciones:

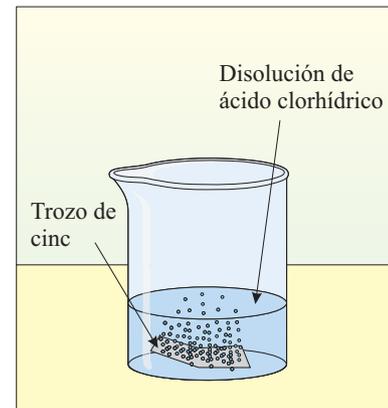


Una **ecuación química** representa mediante fórmulas las sustancias que desaparecen, los reactivos, y las que se producen en una reacción, los productos de la reacción. Además debe estar **ajustada**, es decir, los átomos implicados se conservan, su clase y número debe ser el mismo en ambos miembros de la ecuación. Para ajustarla no se debe cambiar ningún subíndice, pues eso significaría que se escribiría una sustancia diferente a la que participa en la reacción; sólo se pueden cambiar los números que se escriben delante de cada fórmula, los **coeficientes estequiométricos**, que representan la proporción entre las cantidades de sustancia que reaccionan o se producen en la reacción.



### 2.3

Simula las reacciones de combustión de diversos gases. Puedes seleccionar el gas a quemar y la cantidad del mismo que debes poner. Te pide que ajustes la ecuación de combustión. Puedes predecir la cantidad de los productos que se van a obtener y lo puedes comprobar pues la simulación indica el resultado correcto.



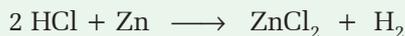
**Casas encaladas:** el dióxido de carbono atmosférico reacciona con el hidróxido de calcio formando una capa blanca de carbonato de calcio.

## EJEMPLO

El ácido clorhídrico (HCl disuelto en agua) reacciona con el cinc (Zn) produciendo cloruro de cinc ( $\text{ZnCl}_2$ ) que queda disuelto en el agua y dihidrógeno, que en condiciones normales está en estado gaseoso.

- a) ¿Qué volumen mínimo de disolución de ácido clorhídrico 4 M se necesita para que reaccionen 12 g de cinc?  
b) ¿Qué masa de cloruro de cinc se obtendrá? ¿Qué volumen de dihidrógeno se obtendrá si lo recogemos en un recipiente a la presión de 1,5 atm y a 18 °C?

a) En primer lugar debemos escribir y ajustar la ecuación que representa la reacción química:



Puesto que la ecuación nos informa de la proporción entre las cantidades de sustancia que reaccionan, conviene calcular la cantidad de sustancia de aquella sustancia cuyos datos conocemos. En este caso es el cinc.

La masa molar del cinc es 65,38 g/mol.

$$\text{La cantidad de sustancia de cinc es: } n_{\text{Zn}} = \frac{12}{65,38} = 0,184 \text{ mol}$$

Para calcular la cantidad de sustancia de cloruro de hidrógeno necesaria tendremos en cuenta la proporción en la que reaccionan, que podemos ver a partir de los coeficientes estequiométricos: 2 moles de HCl por cada mol de Zn. Eso permite escribir:

$$\frac{1 \text{ mol de Zn}}{\text{reacciona con 2 mol de HCl}} = \frac{0,184 \text{ mol de Zn}}{\text{reaccionarán con } x \text{ mol de HCl}}; \quad x = 0,368 \text{ mol de HCl}$$

Conocida la cantidad de sustancia, podemos calcular el volumen de disolución necesario ya que también conocemos la concentración de esa disolución.

$$n_{\text{HCl}} = cV; \quad 0,368 = 4 \cdot V; \quad V = 0,092 \text{ L} = 92 \text{ mL}$$

El resultado es razonable ya que se necesitan casi 0,4 mol de una disolución 4 M, lo que supone que el volumen en el que están contenidos será aproximadamente la décima parte de un litro.

b) De igual forma procederemos para calcular las cantidades de productos obtenidos:

\* En el caso del cloruro de cinc la proporción con el cinc es de 1:1, es decir, que por cada mol de cinc que reaccione se obtiene un mol de cloruro de cinc. Por lo tanto, a partir de 0,184 mol de átomos de cinc se obtienen 0,184 mol de unidades-fórmula de cloruro de cinc.

Para calcular la masa de  $\text{ZnCl}_2$  se debe tener en cuenta que su masa molar es:

$$M_{\text{ZnCl}_2} = 1 \cdot 65,38 + 2 \cdot 35,5 = 136,38 \text{ g/mol},$$

por lo que:

$$m_{\text{ZnCl}_2} = n \cdot M = 0,184 \cdot 136,38 = 25,09 \text{ g}$$

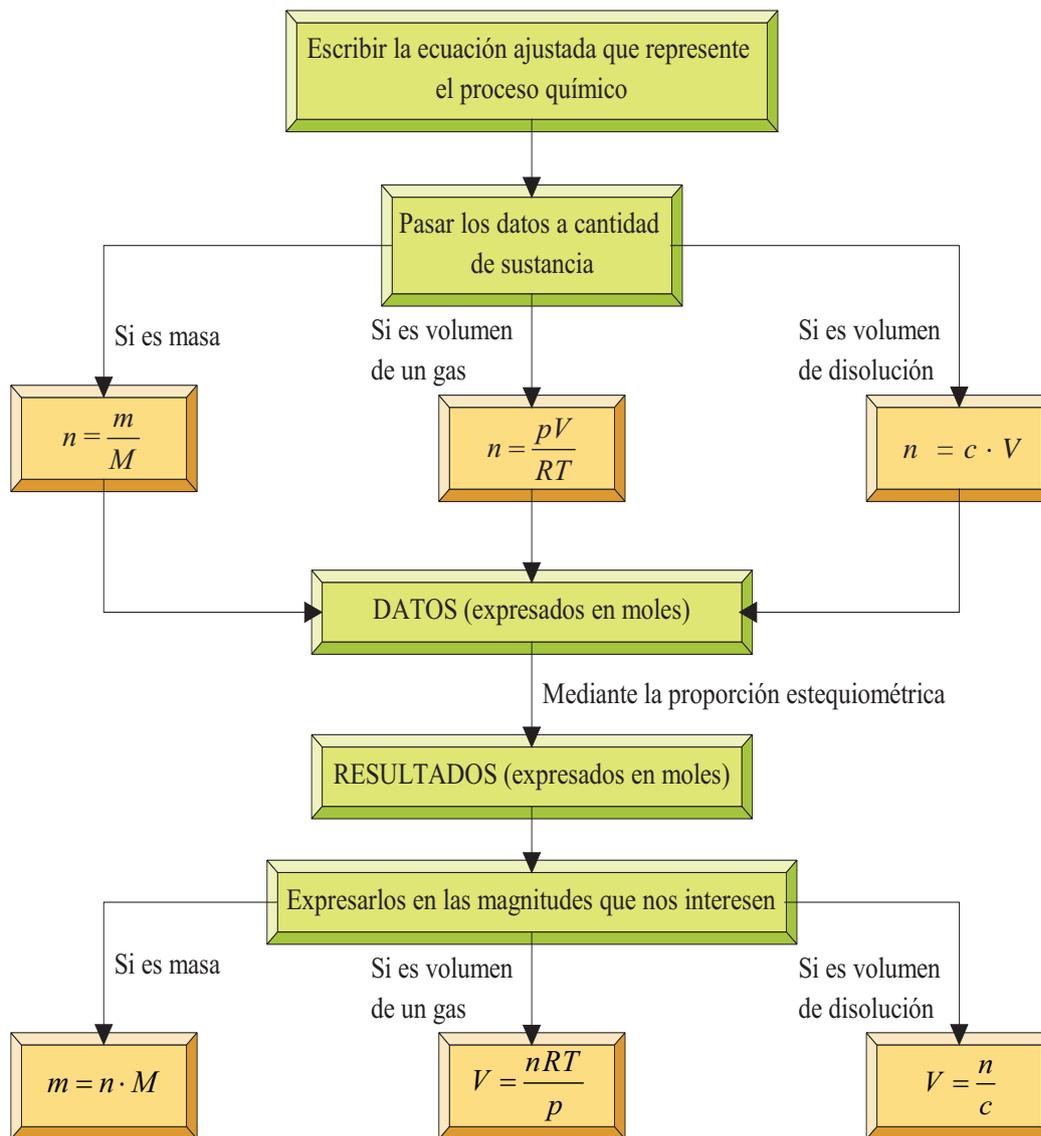
\* En el caso del dihidrógeno la proporción con el cinc también es 1:1. Por lo tanto, a partir de 0,184 mol de átomos de cinc se obtienen 0,184 mol de moléculas de dihidrógeno. Puesto que en las condiciones en las que se lleva a cabo la reacción es una sustancia gaseosa, se puede aplicar la ecuación general de los gases perfectos para calcular el volumen que ocupa, no olvidando expresar la temperatura en kelvin.

$$V = \frac{n R T}{p} = \frac{0,184 \cdot 0,082 \cdot 291}{1,5} = 2,927 \text{ L}$$

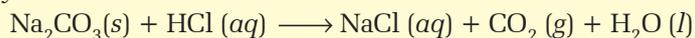
El resultado es razonable, ya que si estuviesen en condiciones normales, los casi 0,2 moles de gas ocuparían unos 4,5 L. Al estar sometidos a mayor presión el volumen ocupado será menor. La temperatura es parecida a 273 K que corresponde a las condiciones normales.

La mayoría de los cálculos estequiométricos más simples se facilitan si procedemos según el siguiente diagrama:





**A.19.-** a) Ajusta la ecuación química que representa la reacción entre el carbonato de sodio y el ácido clorhídrico:



Escribe toda la información que puedas obtener a partir de esa ecuación.

b) Calcula la cantidad de sustancia de ácido clorhídrico necesaria para que reaccionen totalmente 2 mol de carbonato de sodio. ¿Qué cantidad de sustancia se obtendrá de cloruro de sodio?

c) Para que reaccionen completamente 25 g de carbonato de sodio, ¿qué masa necesitaríamos de ácido clorhídrico?, ¿cuánto dióxido de carbono y cuánta agua se obtendrá? Expresa los resultados en kilogramos.

d) Si reaccionan completamente los 25 g de carbonato de sodio, ¿qué volúmenes (en mL) obtendremos de dióxido de carbono y de agua, si suponemos que en el laboratorio estamos a una presión de 1 atm y a 27 °C?

e) Si la disolución de ácido clorhídrico es 2 M, ¿qué volumen será necesario para que reaccionen completamente los 25 g de carbonato de sodio?



Reacción entre el carbonato de sodio y el ácido clorhídrico.

**A.20.-** Se han quemado 20 L de metano medidos en condiciones normales. Calcula el volumen de dióxígeno necesario y los volúmenes de dióxido de carbono y vapor de agua obtenidos, sabiendo que estos gases se encuentran a 1 atm de presión y una temperatura de 227 °C.

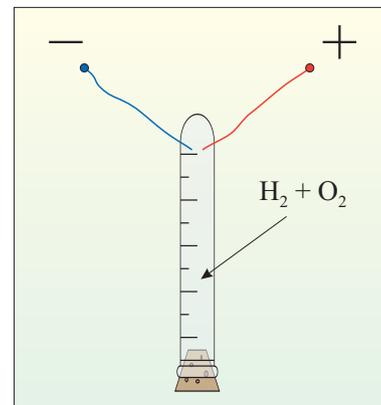
## Reactivo limitante

En las reacciones químicas puede ocurrir que las cantidades iniciales de los reactivos estén en la proporción exacta que fija la ecuación química ajustada. En ese caso, y supuesto que la reacción química se llevase a cabo en su totalidad, desaparecerían completamente los reactivos y en el recipiente sólo quedarían las sustancias que aparecen en esa reacción química.

P

Sin embargo, lo normal es que sobre una parte de alguno de los reactivos. Por ejemplo, si se quema alcohol es frecuente que el reactivo que sobre sea el dióxígeno, especialmente cuando se toma del aire. Se dice que ese **reactivo** está en **exceso**. Al reactivo que «se acaba», en este caso el alcohol, se le llama **reactivo limitante**. Las cantidades de los productos que se obtienen en una reacción están determinadas por el reactivo limitante.

AC



P

**A.21.-** Se tiene una mezcla de 10 g de hidrógeno y 40 g de dióxígeno.

- ¿Qué cantidad de sustancia hay de cada una de ellas?
- Si se hace saltar una chispa eléctrica para que se inicie la reacción, ¿cuál será en este caso el reactivo limitante? ¿Cuánto sobrará del otro reactivo?
- ¿Qué masa de agua se obtendrá?

## Rendimiento en una reacción química

También se debe tener en cuenta que en realidad casi nunca se obtiene la cantidad de producto de una reacción que teóricamente cabe esperar. Siempre hay pérdidas por diversas causas o la reacción no se lleva a cabo completamente. Por ello es necesario introducir el concepto de rendimiento de una reacción química:

**Rendimiento ( $r$ )** de una reacción es la proporción de producto obtenido respecto al máximo posible que podríamos obtener.

$$r = \frac{\text{cantidad obtenida}}{\text{cantidad teórica}} 100$$

P

**A.22.-** Cuando reaccionan 10 mL de nitrato de plomo (II),  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , 0,5 M con 10 mL de cloruro de sodio 1 M, obtenemos un precipitado blanco de dicloruro de plomo, que una vez seco pesa 1,2 g.

- ¿Cuál es la cantidad máxima de dicloruro de plomo que se podría obtener a partir de esas cantidades de reactivos?
- ¿Cuál ha sido el rendimiento de la reacción?
- En una reacción química el rendimiento es del 80 %, ¿se cumple el principio de conservación de la masa?

El siguiente ejemplo recoge los diferentes aspectos parciales que hemos estudiado referidos a los cálculos estequiométricos.



2.4

En la simulación se puede escoger las masas de las sustancias que van a reaccionar. Puedes predecir la cantidad de los productos que se van a obtener y lo puedes comprobar pues la simulación indica el resultado correcto.

## EJEMPLO

En un recipiente cerrado, que permite recoger los gases que se produzcan, se ponen 3,51 g de aluminio y 300 cm<sup>3</sup> de una disolución de ácido sulfúrico 2 M.

- ¿Cuál es el reactivo limitante?, ¿qué cantidad sobra del reactivo en exceso?
- Calcula el volumen máximo de hidrógeno, a 2 atm y a 15 °C, que puede obtenerse.
- ¿Cuántos iones sulfato y cuántos iones aluminio se habrán obtenido en ese proceso?

Para resolver un problema de estequiometría conviene proceder sistemáticamente, siguiendo una serie de pasos que constituyen lo que llamamos un algoritmo. Si es importante en todas las ocasiones, lo es aún más cuando se está iniciando el aprendizaje.

1. Se escribe y ajusta la ecuación química que corresponde al proceso descrito.



2. Puesto que la ecuación química informa sobre la relación que hay entre las cantidades de sustancia de reactivos y productos, se calcula las cantidades de sustancia de aquellas sustancias que figuren como datos. En este caso, el enunciado se refiere a las cantidades de aluminio y de ácido sulfúrico que se tienen inicialmente.

$$n_{\text{Al}} = \frac{3,51}{27} = 0,13 \text{ mol}; \quad n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = c_{\text{H}_2\text{SO}_4} V = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ mol}$$

Esas son las cantidades que se han puesto, pero eso no quiere decir que reaccionen por completo ambas sustancias. Es posible que se haya puesto una de ellas en exceso, de forma que cuando la otra haya reaccionado totalmente, aún quede de la primera sustancia. Para poder calcular la cantidad de sustancia que sobra hay que tener en cuenta la proporción en la que reaccionan.

3. La relación estequiométrica, conocida a partir de la ecuación ajustada, nos informa de que por cada dos moles de aluminio reaccionan tres moles de ácido sulfúrico, por lo que:

$$\frac{2 \text{ mol de aluminio}}{\text{reaccionan con 3 mol de ácido sulfúrico}} = \frac{0,13 \text{ mol de aluminio}}{\text{reaccionarán con } x \text{ mol de ácido sulfúrico}}$$

Reaccionan 0,195 mol de ácido sulfúrico. La cantidad de sulfúrico que sobra será la diferencia entre la cantidad que se puso, 0,6 mol y la que ha reaccionado. Eso supone que sobra:  $0,6 - 0,195 = 0,405$  mol de moléculas de ácido sulfúrico. El aluminio, en este caso, será el reactivo limitante.

4. Si se sabe la cantidad que ha reaccionado podemos calcular la cantidad de sustancia de los productos obtenidos.

$$\text{Dihidrógeno: } \frac{2 \text{ mol de aluminio}}{\text{producen 3 mol de dihidrógeno}} = \frac{0,13 \text{ mol de aluminio}}{\text{producirán } x \text{ mol de dihidrógeno}}; \quad x = 0,195 \text{ mol de H}_2$$

$$\text{Sulfato de aluminio: } \frac{2 \text{ mol de aluminio}}{\text{producen 1 mol de sulfato de aluminio}} = \frac{0,13 \text{ mol de aluminio}}{\text{producirán } x \text{ mol de sulfato de aluminio}};$$

Se calcula que se producen 0,065 mol de unidades fórmula de sulfato de aluminio.

Resumimos los resultados obtenidos hasta este momento, diferenciando claramente entre las cantidades de las sustancias iniciales, las de las sustancias que han reaccionado y las cantidades que quedan al final de todo el proceso.

	2 Al	+	3 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	→	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	+	3 H <sub>2</sub>
Sustancias iniciales	0,13 mol		0,6 mol		0		0
Reaccionan	0,13 mol		0,195 mol				
Se producen					0,065 mol		0,195 mol
Sustancias finales	0		0,405 mol (sobran)		0,065 mol		0,195 mol

5. Expresamos el resultado en la forma que nos pida el enunciado. En este caso, nos piden que calculemos el volumen de dihidrógeno producido. Aplicando la ecuación de los gases perfectos, tendríamos:

$$pV=nRT; \quad 2 V = 0,195 \cdot 0,082 (273 + 15); \quad V = 2,30 \text{ L}$$

Es un resultado razonable pues se trata de aproximadamente 0,2 mol de moléculas de dihidrógeno. Si estuviera en condiciones normales ocuparía un volumen aproximado de 4,4 L. Ya que la temperatura está cercana a la normal y la presión es el doble, es razonable que se obtenga un volumen igual a la mitad del que se obtendría en condiciones normales.

También se pide el número de iones aluminio y de iones sulfato. Según la fórmula, cada mol de sulfato de aluminio tiene  $2 N_A$  iones aluminio y  $3 N_A$  iones sulfato. Así:

$$N_{\text{Al}^{3+}} = 0,065 \cdot 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 0,78 \cdot 10^{23} \text{ iones aluminio}$$

$$N_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,065 \cdot 3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,17 \cdot 10^{23} \text{ iones sulfato}$$

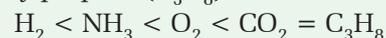
Los resultados nos indican que se obtiene una cantidad muy grande de iones. Eso es razonable, pues en cualquier cantidad macroscópica de una sustancia electrolito hay un número muy grande de iones.

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

1. La Tierra tiene unos 6000 millones de habitantes. Si tuviéramos que distribuir un mol de euros entre ellos, ¿cuántos euros recibiría cada uno?

Unos 100 billones de euros

P 2. Clasifica los siguientes gases en orden creciente de densidades (suponiendo que están en las mismas condiciones de presión y temperatura): dióxígeno, dihidrógeno, dióxido de carbono, amoníaco y propano ( $C_3H_8$ ).



3. Calcula la cantidad de sustancia que hay en  $18 \cdot 10^{23}$  moléculas de amoníaco. ¿Cuál será su masa?

$$n = 3 \text{ mol}; m = 51 \text{ g}$$

4. Calcula el volumen de: a) 1 mol de moléculas de dióxido de carbono (g) en condiciones normales.

b) 1 mol de átomos de mercurio (l), densidad: 13,5 g/mL.

c) 1 mol de moléculas de tetrafósforo (s), densidad: 2,35 g/mL.

$$22,4 \text{ L}; 14,86 \text{ mL}; 52,7 \text{ mL}$$

P 5. a) ¿Qué masa de aire hay en un neumático, si sabemos que a 2,8 atm y 17 °C ocupa 10 L? Masa molecular relativa aparente del aire: 29.

b) ¿Cuál será la presión después de un viaje si la temperatura del neumático es de 57 °C, suponiendo que no hay aumento de volumen?

$$m = 34,15 \text{ g}; p = 3,19 \text{ atm}$$

6. Haz una descripción detallada de cómo prepararías 250 mL de una disolución 0,1 M de hidróxido de sodio, NaOH. Realiza los cálculos oportunos.



P 7. Tenemos una disolución 0,2 M de nitrato de hierro (II),  $Fe(NO_3)_2$ . Tomamos 500 mL y calentamos hasta reducir su volumen a la mitad. ¿Qué masa de nitrato de hierro (II) tendremos?

$$m = 17,98 \text{ g}$$

P 8. El óxido de cobre (II) se hace reaccionar en caliente con dihidrógeno, obteniéndose cobre metálico y vapor de agua. ¿Qué volumen de dihidrógeno, medido a una presión de 5 atm y 300 °C, se necesita para obtener 1 kg de cobre? ¿Qué cantidad de sustancia de óxido de cobre (II) se necesita?

$$V = 148 \text{ L}; n = 15,75 \text{ mol}$$

P 9. El ácido clorhídrico ataca al cinc. Si a 100 mL de ácido clorhídrico 0,2 M le añadimos 5 g de cinc, ¿sobrará ácido o cinc?, ¿cuánto?

Sobran 4,35 g de cinc

P 10. El hierro se combina con el dióxígeno para dar óxido de hierro (III). Colocamos un trozo de 100 g de hierro a la intemperie, y al cabo de varios días la masa de ese trozo es de 120 g. ¿Qué volumen de dióxígeno, medido en condiciones normales, ha reaccionado con el hierro?

$$V = 14 \text{ L}$$

11. El nitrato de plomo (II),  $Pb(NO_3)_2$ , reacciona con el sulfato de sodio,  $Na_2SO_4$ , para dar un producto insoluble, el sulfato de plomo (II),  $PbSO_4$ , y otro producto soluble, el nitrato de sodio,  $NaNO_3$ .

a) Escribe y ajusta la ecuación química que corresponde a esa reacción.

P b) Si mezclamos 200 mL de una disolución de nitrato de plomo (II) 0,2 M con otros 200 mL de una disolución de sulfato de sodio 0,3 M, ¿qué masa de sulfato de plomo (II) se obtendrá?

c) ¿Cuál será la concentración del sulfato de sodio que sobre?

d) Si se obtienen 11 g de sulfato de plomo (II), ¿cuál sería el rendimiento de la reacción?

$$m = 12,13 \text{ g}; [Na_2SO_4] = 0,05 \text{ M}; r = 90,68 \%$$

# 4

## VELOCIDAD DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

La oxidación del hierro es un proceso lento mientras que la combustión de la gasolina podemos decir que es una reacción química rápida. Una primera definición de velocidad de reacción, que podemos calificar de intuitiva, es:

La **velocidad de una reacción química** se refiere a la cantidad de reactivo que desaparece en cada segundo o a la cantidad de un producto que aparece en cada segundo.

De forma experimental los científicos han establecido que los factores que influyen en la velocidad de las reacciones químicas son:

- Las **concentraciones** de las sustancias que intervienen en la reacción.
- La **temperatura** a la que se lleve a cabo la reacción.
- Cuando los reactivos estén en diferente estado de agregación, por ejemplo cuando un reactivo esté en estado sólido y el otro en estado líquido o gaseoso, la velocidad de reacción se ve afectada por la superficie de contacto entre los reactivos. Por lo tanto, se favorece si aumentamos el **grado de división** del sólido.
- Existen sustancias, los **catalizadores**, que, añadidas a determinadas reacciones, modifican su velocidad. No se les puede considerar reactivos ya que no se «consumen» en la reacción.

**A.23.-** Supongamos que queremos estudiar la reacción química entre una disolución de ácido clorhídrico y el cinc en la que se produce dihidrógeno y cloruro de cinc. Diseña experiencias que permitan comprobar que:

- La concentración de los reactivos influye en la velocidad de reacción.
- La temperatura a la que se encuentran los reactivos influye en la velocidad de reacción.
- El grado de división del cinc influye en la velocidad de reacción.

**A.24.-** a) Comprobación experimental de que el agua es un catalizador para la reacción entre el yodo y el cinc para dar yoduro de cinc.

b) ¿Se puede quemar un terrón de azúcar con un mechero? Impregna el terrón de azúcar con ceniza e inténtalo quemar. ¿Se puede quemar ahora?

### CATALIZADORES EN EL TUBO DE ESCAPE

Los motores de explosión producen además de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  otros gases contaminantes como son el  $\text{CO}$ , óxidos de nitrógeno e hidrocarburos que no se han quemado. Para conseguir transformarlos en gases no contaminantes, se colocan en el tubo de escape metales como el platino, el paladio y el rodio que, actuando como catalizadores favorecen que el  $\text{CO}$  pase a  $\text{CO}_2$ , que los hidrocarburos se quemen y pasen a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , y que los óxidos de nitrógeno pasen a  $\text{N}_2$  y  $\text{CO}_2$ .



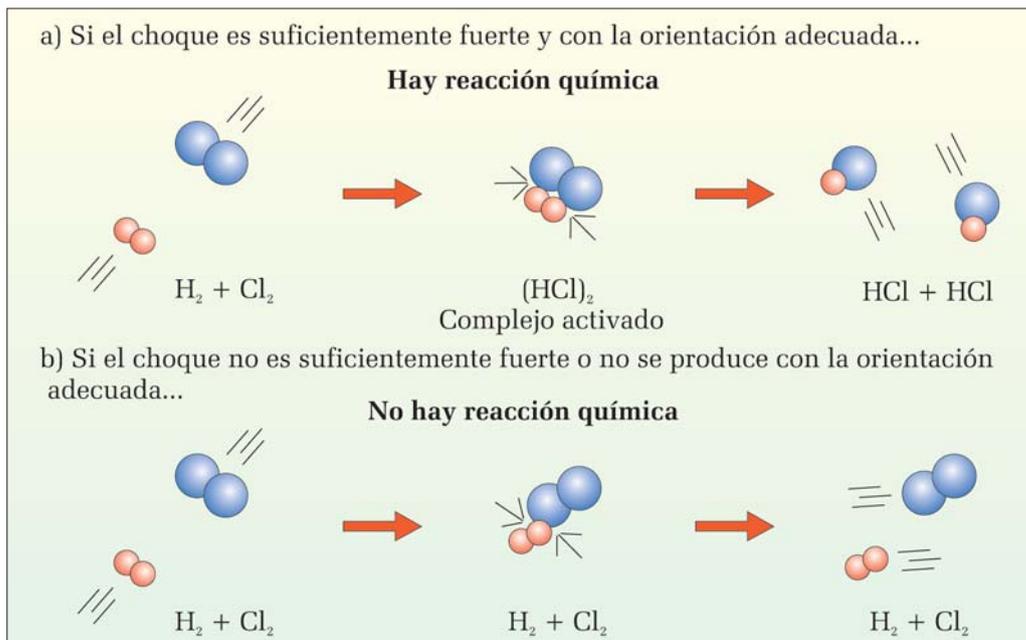
2.5

Vídeo en la que se ve quemar un terrón de azúcar

### La teoría de colisiones explica los factores que influyen en la velocidad de reacción

Según esta teoría, cuando chocan las moléculas de los reactivos se forma una especie química intermedia entre reactivos y productos, que se denomina **complejo activado**. Este complejo activado en el que se supone hay enlaces a medio romper y otros enlaces a medio formar, tiene mayor energía potencial que las especies químicas de los reactivos. Para que se pueda formar el complejo activado es necesario que la energía cinética de las moléculas de los reactivos iguale o supere la diferencia entre la energía del complejo activado y la energía de los reactivos. Otro factor que influye en su formación es la orientación de las moléculas en los choques. Podemos ver una representación de la reacción entre el dicloro y el dihidrógeno para formar el cloruro de hidrógeno en la página siguiente.

La teoría cinético-molecular relaciona la temperatura con la velocidad media de las moléculas o iones que forman las sustancias. Cuanto mayor es la temperatura mayor es la energía cinética media.



**A.25.-** Justifica con la teoría de colisiones y teniendo en cuenta la relación entre temperatura y velocidad de las moléculas e iones las siguientes leyes experimentales relacionadas con la velocidad de reacción.

a) La velocidad de reacción aumenta si lo hace la concentración y/o el grado de división de los reactivos.

b) La velocidad de reacción aumenta o disminuye en función de la temperatura de los reactivos.

Los catalizadores favorecen la velocidad de reacción porque disminuyen la energía del complejo activado intermedio. Otros catalizadores actúan favoreciendo que la orientación de las moléculas en los choques sea la adecuada. Eso facilita que se produzca la reacción, pues más choques serán eficaces.

### Nueva definición de la velocidad de reacción

Si calculamos la velocidad de una reacción como la masa de producto obtenido o de reactivo desaparecido por unidad de tiempo, obtendremos un valor diferente según sea el producto o reactivo al que nos refiramos. También influirá en el resultado la cantidad total de reactivos que hayamos puesto. Resulta interesante que la velocidad de una reacción no dependa del reactivo o del producto al que se refiera y que tampoco dependa de la cantidad total de reactivo que hayamos puesto.

Para obtener un valor único que caracterice la velocidad de reacción, los científicos la definen en función de lo que varíe la concentración. Así, para una reacción química general que podemos representar con la ecuación:



la velocidad media de reacción en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  se define:

$$v = -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

**A.26.-** En un recipiente de 10 L que mantenemos a 360 °C colocamos una mezcla de  $I_2$  y  $H_2$  que al reaccionar producen HI. Las concentraciones a lo largo del tiempo se recogen en la siguiente tabla:

Esta forma de definir la velocidad de reacción tiene algún inconveniente. Por ejemplo, no es aplicable a un reactivo o producto que esté en estado sólido, pues no podemos definir la concentración de una sustancia en estado sólido. De todas formas, ese inconveniente es menor pues siempre se puede definir la velocidad respecto a otro reactivo o producto, y puesto que la velocidad es la misma para todos los reactivos o productos, no es necesario definirla respecto a la sustancia en estado sólido.

	[H <sub>2</sub> ] mol/L	[I <sub>2</sub> ] mol/L	[HI] mol/L
Instante inicial	2,00	1,50	0,00
A los 2 minutos	1,68	1,18	0,62
A los 4 minutos	1,43	0,93	1,12
A los 6 minutos	1,25	0,75	1,48

a) Calcula la velocidad media de la reacción en los 2 primeros minutos. ¿Es necesario indicar respecto a qué sustancia se ha calculado? ¿Por qué?

b) Calcula la velocidad media de la reacción en el intervalo que va de los 2 a los 4 minutos. Idem para el intervalo entre los 4 y 6 minutos.

c) ¿Se mantiene constante la velocidad de reacción a lo largo de todo el tiempo? ¿Es razonable que la velocidad de reacción vaya disminuyendo con el tiempo? ¿Por qué?

d) Calcula la cantidad de sustancia de yoduro de hidrógeno que se habrá obtenido en los 6 minutos. ¿Qué masa de yoduro de hidrógeno se habrá obtenido?

## 5

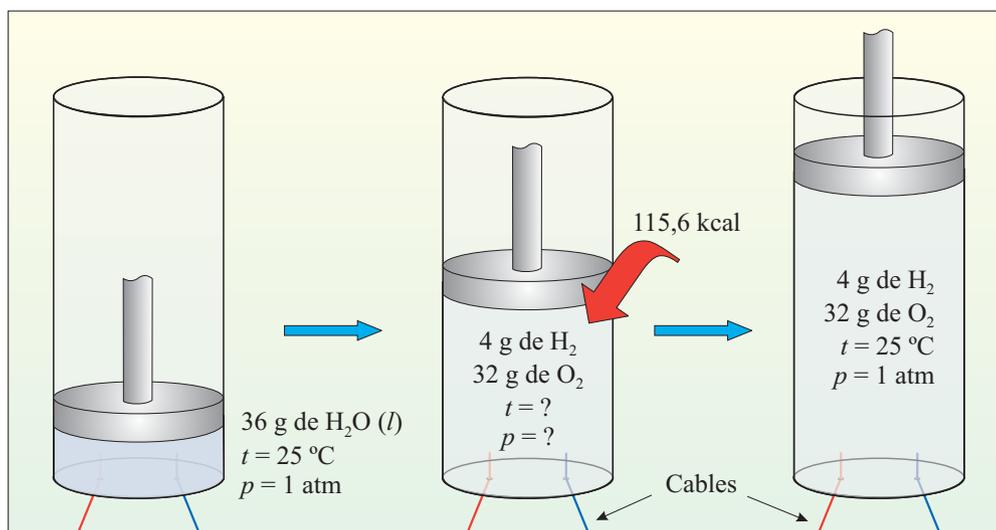
## ENERGÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

Las reacciones químicas van acompañadas de transferencias energéticas.

Toda reacción química va siempre acompañada de un intercambio de energía. Cuando la reacción cede energía se dice que es **exotérmica**. Cuando la reacción capta energía se dice que es **endotérmica**.

**A.27.-** Escribe al menos tres ejemplos de reacciones exotérmicas y otros tres de reacciones endotérmicas.

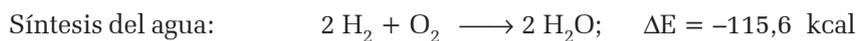
Delimitemos más exactamente lo que es una reacción exotérmica o endotérmica. Para ello debes imaginar que la reacción se produce en un recipiente cerrado en el que se encuentran los reactivos, en unas determinadas condiciones de presión y temperatura. Una vez que se ha producido la reacción química, en el recipiente estarán los productos a una temperatura y presión diferente. Dejamos que se alcance de nuevo las condiciones iniciales de presión y temperatura.



Los productos de la reacción deben estar en las mismas condiciones que los reactivos para poder establecer el balance energético.

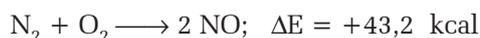
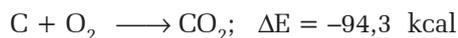
Para que todo eso haya podido ocurrir el sistema habrá cedido al exterior una determinada cantidad de energía, en el caso de las reacciones exotérmicas, o habrá tomado del exterior una determinada cantidad de energía en el caso de las reacciones endotérmicas.

Al escribir una ecuación química podemos escribir además de los reactivos y productos, la energía que se cede o se recibe del exterior como resultado de la reacción que se representa. A esa energía se le llama comúnmente **calor de reacción**. Así, las reacciones de síntesis y descomposición del agua las escribiríamos:



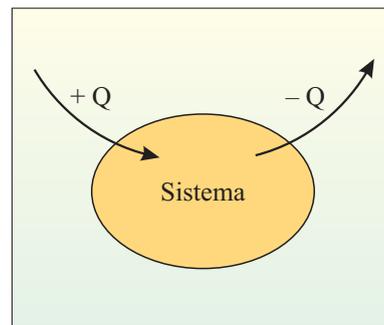
Puedes observar que se ha utilizado un criterio de signos en el que consideramos el calor de reacción negativo cuando se cede energía hacia el exterior y positivo en caso contrario. También se cumple que la cantidad de energía que se cede al exterior cuando se lleva a cabo una reacción en un sentido, es igual que la cantidad de energía que se necesita para que la reacción ocurra en sentido contrario.

Las ecuaciones químicas que escribimos a continuación representan la combustión del carbón y la oxidación del dinitrógeno:



La energía intercambiada en una reacción química depende de las sustancias que intervienen en la misma y de las cantidades que reaccionan. Normalmente, los datos se refieren a la energía que se libera o se capta cuando reacciona un mol de una de las sustancias, bien de un reactivo o de un producto.

Aunque todas las reacciones químicas ocurren con un intercambio de energía, son de máxima importancia las combustiones de los hidrocarburos y del carbón, que constituyen las fuentes energéticas más utilizadas actualmente.



Criterio de signos para el calor



## 2.6

En ambas simulaciones se calculan los cambios de temperatura que ocurren en un calorímetro cuando se produce una disolución (primera dirección) y cuando se produce una reacción química. Se pueden seleccionar los reactivos y el volumen y concentración de los mismos.

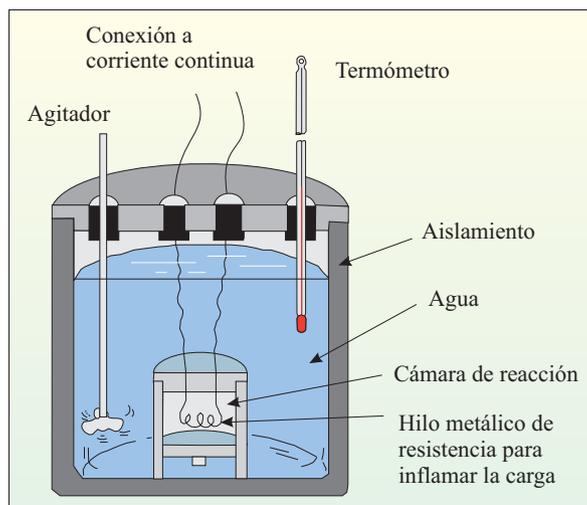
P

**A.28.-** ¿Cuánta energía se desprenderá al quemar 1 kg de carbón? ¿Cuánta energía es necesaria para descomponer 1 kg de agua?

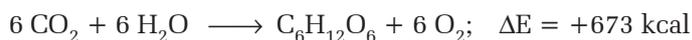
Para hacer medidas muy cuidadosas de los calores de reacción se utilizan bombas calorimétricas o calorímetros como el que muestra la figura. La cámara de reacción se encuentra totalmente rodeada de agua, y la energía desprendida en la reacción se mide por la elevación que se produce en la temperatura del agua, para lo que se utilizan termómetros muy sensibles, capaces de apreciar hasta centésimas de grado.

P

**A.29.-** La combustión de 0,463 g de tolueno ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ) aumenta la temperatura de 600 g de agua desde 20,07 °C hasta 21,94 °C. Calcula el calor de combustión del tolueno en kcal/mol.



La **reacción de fotosíntesis**, a través de la cual incorporan la energía los seres autótrofos, consiste en la combinación del dióxido de carbono atmosférico con agua formando glucosa. Cada mol de glucosa sintetizado por un vegetal supone la captación de 673 kcal aportadas por la luz.



P

**A.30.-** a) Calcula el aumento de energía de una planta cada vez que sintetiza una molécula de glucosa.

b) Escribe y ajusta la ecuación termoquímica correspondiente a la combustión de la glucosa.

**A.31.-** Decimos que las reacciones químicas liberan o captan energía. Eso parece contradecir el principio de conservación de la energía.

a) Da una explicación del proceso que supone una reacción química, intentando que no haya ninguna contradicción desde el punto de vista energético. Da ejemplos de diferentes transformaciones energéticas a partir de una reacción química.

b) ¿Es correcta la frase «al quemar gasolina en un motor, parte de ella se convierte en energía»?

### Explicación atómico-molecular del calor de reacción

La energía interna de una sustancia puede considerarse como la suma de la energía cinética de sus moléculas (o iones) y la energía potencial asociada a las fuerzas electromagnéticas que existen entre los átomos, moléculas o iones de esa sustancia.

La energía potencial de los productos será diferente a la energía potencial de los reactivos, pues las uniones entre los átomos son diferentes. Por lo tanto, también será diferente la energía cinética de las moléculas o iones dado que se debe cumplir el principio de conservación de la energía. Esa diferencia de energía cinética de las moléculas se manifiesta, a escala macroscópica, como una diferencia de la temperatura de los reactivos y productos.

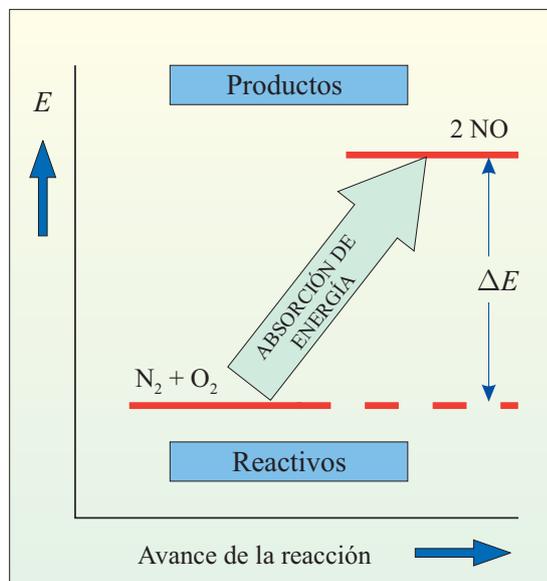
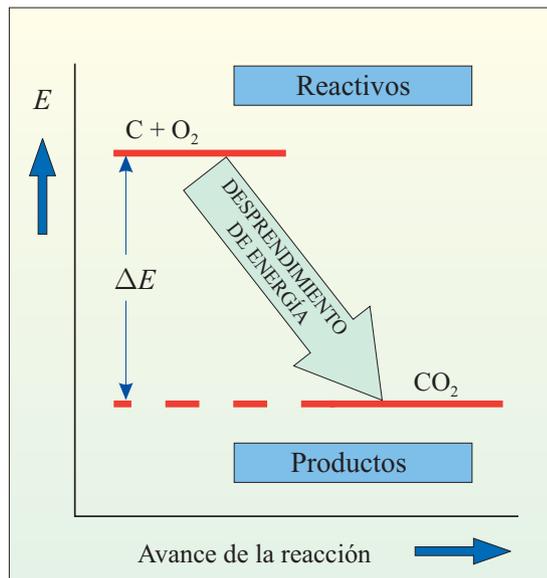
De esta forma, en una reacción exotérmica, la energía potencial de los productos será menor que la de los reactivos. La energía cinética de las moléculas o iones de los productos será mayor que la de los reactivos. Esto supone que la temperatura de los productos será mayor que la de los reactivos y como consecuencia, ocurrirán transferencias de energía desde el sistema al exterior.

**A.32.-** Explica a nivel atómico-molecular los cambios de energía que deben ocurrir en una reacción endotérmica.

**A.33.-** El carbón reacciona con el dióxígeno. El butano también. Ambas son reacciones exotérmicas, desprenden energía, sin embargo para que estas sustancias empiecen a reaccionar hay que «encenderlas» o «activarlas». Intenta dar una explicación de esto utilizando la teoría cinético-molecular.

### Energía de activación

Aunque la energía interna de los productos sea menor que la de los reactivos, es necesario suministrar energía a los reactivos para que la reacción se lleve a cabo, aunque en el balance final la reacción sea exotérmica. Esa energía es necesaria para que las moléculas de los reactivos tengan la energía suficiente para que los choques sean eficaces, se forme el complejo activado y puedan romperse los enlaces; se llama **energía de activación**,  $E_a$ , y corresponde a la diferencia de energía de las moléculas de los reactivos en las condiciones iniciales y la del complejo activado.

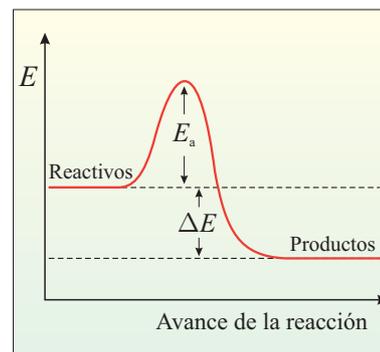


Diagramas de energía de reacciones químicas exo y endotérmicas.



2.7

Se explica el concepto de energía de activación para reacciones endotérmicas y exotérmicas.



# 6

## EL AGUA Y LAS DISOLUCIONES IÓNICAS

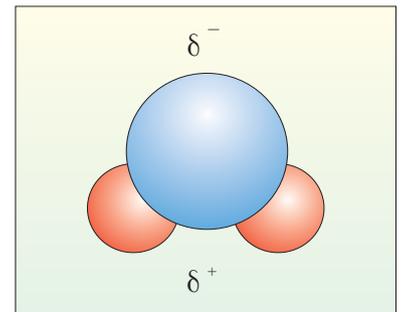
El agua corriente que usamos en nuestra ciudad proviene de ríos, embalses o aguas subterráneas. Normalmente lleva disueltas algunas sales. La concentración máxima permitida de algunos iones se recoge en la tabla adjunta.

Si la concentración de sales de calcio y magnesio en el agua supera un determinado valor se denomina **agua dura**, y en caso contrario se llama **agua blanda**. Las aguas duras producen poca espuma con el jabón y dejan depósitos calcáreos en las tuberías, planchas, lavavajillas, etc., con efectos bastante perjudiciales para estos aparatos.

El agua era considerada como una sustancia simple hasta el siglo XVIII. El químico inglés Priestley, en 1781, la sintetizó quemando hidrógeno. El agua es una sustancia compuesta del tipo que hemos llamado covalente. Dado que al descomponerla mediante una electrólisis obtenemos hidrógeno y oxígeno, decimos que las moléculas de agua están formadas por átomos de estos elementos químicos. Y dada la relación de volúmenes que se obtiene en este proceso, podemos deducir que su fórmula es  $H_2O$ .

En el capítulo anterior estudiamos que el enlace O-H es polar puesto que la electronegatividad del oxígeno es mayor que la del hidrógeno; como consecuencia de ello y dado que en la molécula de agua hay dos enlaces O-H que forman un ángulo de unos  $105^\circ$ , la molécula de agua es polar. En el dibujo se representan las zonas cargadas de la molécula del agua con carga parcial positiva en la zona donde están los hidrógenos y carga parcial negativa en la zona donde está el oxígeno.

Concentración máxima permitida en agua potable en miligramos/litro		
anión cloruro	$Cl^-$	200,0
anión sulfato	$SO_4^{2-}$	250,0
anión nitrato	$NO_3^-$	50,0
anión nitrito	$NO_2^-$	0,1
cación amonio	$NH_4^+$	0,5
cación hierro (III)	$Fe^{3+}$	0,2
cación plomo (II)	$Pb^{2+}$	0,05
residuo seco		1500,0

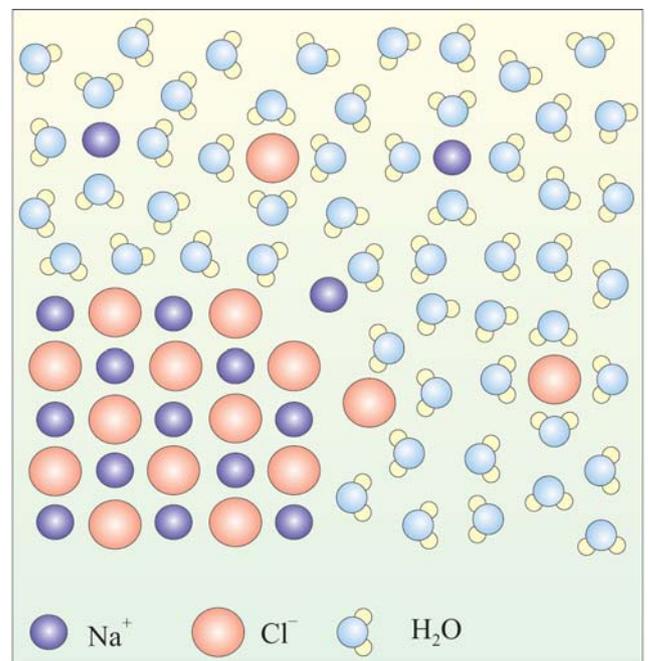


### 6.1 Disoluciones iónicas

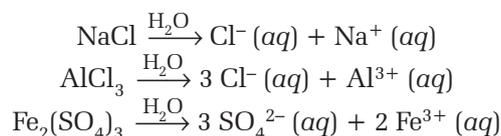
El agua es un buen disolvente de las sustancias iónicas. Según la teoría de Arrhenius, estas sustancias están formadas por aniones y cationes que existen en el sólido y se separan al disolverse en agua.

La disolución de una sustancia iónica en agua se explica mediante el proceso llamado **hidratación** de los iones (en general, se le llama **solvatación** para cualquier disolvente). En el proceso de disolución las moléculas de agua chocan continuamente con los iones de la red cristalina de la sustancia iónica y además ejercen fuerzas atractivas sobre ellos debido a la polaridad de la molécula de agua. La atracción entre los iones y las moléculas de agua tiende a separar los iones de la red de forma que pueden introducirse moléculas de agua entre ellos como se observa en la figura.

¿Por qué no vuelven a unirse los iones? Los iones que son separados de la red quedan rodeados de moléculas de agua debido a las fuerzas de atracción eléctrica que compensan en parte las atracciones entre los propios iones. Mediante este proceso se va destruyendo la red cristalina y la sustancia queda disuelta en el agua.



Ejemplos de ecuaciones de disociación de sustancias iónicas en agua son:



**A.34.-** El fenómeno de la disolución ¿es un proceso físico o químico? Aporta razones que apoyen la alternativa que escojas.

Para resolver esta cuestión debemos distinguir dos casos diferentes.

a) Al disolver sustancias iónicas obtenemos una separación de los iones que quedan rodeados por moléculas de agua. Si evaporamos el agua obtendremos de nuevo el sólido iónico sin cambios en su naturaleza, es decir, no aparecen nuevas especies químicas. Desde este punto de vista podemos decir que estamos hablando de un cambio físico, ya que mediante otro cambio físico, la evaporación, volvemos a tener la sustancia inicial.

Sin embargo, si nos centramos en la definición de reacción química según la teoría atómica, como ruptura y formación de nuevos enlaces, podemos pensar que la disolución de sólidos iónicos en agua es un proceso químico, ya que se rompen los enlaces iónicos que mantienen juntos a los iones en la red cristalina y se forman enlaces entre las moléculas de agua y los iones por la atracción eléctrica entre ellos.

El proceso de disolución de sustancias iónicas en agua está en el límite entre lo que consideramos un cambio físico y un cambio químico por lo que hay cierta ambigüedad al intentar clasificarlo de un modo u otro.

b) Cuando disolvemos ciertas sustancias covalentes se puede producir una reacción química entre el agua y la sustancia. Por ejemplo, si disolvemos el gas cloruro de hidrógeno, HCl, en agua se produce la siguiente reacción:



La molécula HCl se rompe quedándose el átomo de cloro con los dos electrones compartidos, el suyo y el del hidrógeno, y por tanto forma el ion cloruro,  $\text{Cl}^-$ , y el ion hidrógeno,  $\text{H}^+$ , se une a una molécula de agua formando el catión hidronio,  $\text{H}_3\text{O}^+$ . La disolución así formada recibe el nombre de ácido clorhídrico.

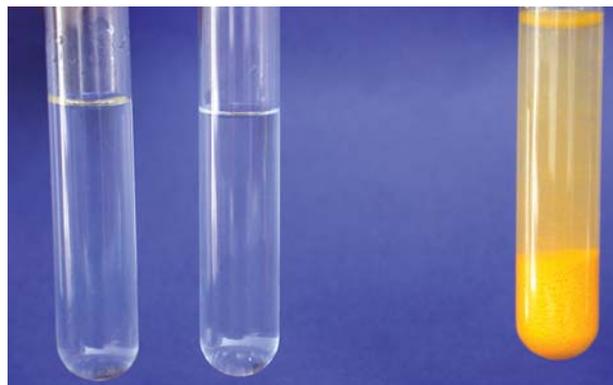
En casos como éste no cabe la menor ambigüedad, y lo consideraremos sin duda como un proceso químico.

**A.35.-** El cloruro de hidrógeno seco no conduce la electricidad, el ácido clorhídrico sí conduce. Interpreta estos hechos experimentales.

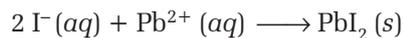
## 6.2 Reacciones de precipitación

Estas reacciones se producen cuando se ponen en contacto en disolución acuosa dos iones que juntos pueden formar un sólido insoluble. Por ejemplo, el yoduro de potasio es una sustancia bastante soluble en agua igual que ocurre con el nitrato de plomo (II). Si mezclamos disoluciones de ambas sustancias se produce una sustancia insoluble en agua, el yoduro de plomo, y otra sustancia que sí es soluble, el nitrato de potasio. Se observa la formación de un precipitado amarillo.

La ecuación de la reacción anterior se puede escribir como:



A veces, en las reacciones de precipitación se representan sólo los iones que dan lugar a un compuesto insoluble. A los iones que estando presentes no participan en la reacción de precipitación se les llama **iones espectadores**. Así, la reacción anterior se puede representar también como sigue:



En la tabla que sigue se recogen, de forma general, los grupos de sustancias iónicas más solubles y las menos solubles.

Sustancias iónicas muy solubles	Sustancias iónicas poco solubles
Casi todos los nitratos y nitritos, por ejemplo, nitrato de plata o de plomo, etc. Las sales de los cationes alcalinos, por ejemplo, sulfato de sodio, cloruro de potasio, carbonato de sodio, etc.	Los carbonatos, sulfatos, sulfuros, haluros de todos los cationes excepto de los alcalinos. Por ejemplo carbonato de plata, cloruro de plomo, sulfuro de cobre, sulfato de calcio o magnesio,

La información recogida en la tabla es sólo una aproximación ya que cada sustancia tiene una solubilidad en agua diferente.

P

**A.36.-** a) Escribe las reacciones que se pueden producir si mezclamos disoluciones acuosas de las siguientes sustancias, todas solubles en agua.

- Nitrato de bario  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  y sulfato de sodio  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
- Nitrito de calcio  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$  y fluoruro de potasio  $\text{KF}$ .
- Bromuro de magnesio  $\text{MgBr}_2$  y carbonato de litio  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ .
- Dicloruro de cobre  $\text{CuCl}_2$  y sulfuro de sodio  $\text{Na}_2\text{S}$ .

b) Escribe las ecuaciones que representan a las reacciones de precipitación sin incluir los iones espectadores.

## 7 ÁCIDOS Y BASES

La clasificación de las sustancias en ácidos y bases es antigua, ya la utilizaba Boyle en el siglo XVII, y en una primera etapa se basaba únicamente en cómo se comportaban. A partir de su comportamiento podemos definir operacionalmente qué es una sustancia ácida, básica o neutra, aunque estas definiciones son meramente descriptivas, de forma que con ellas sólo sabemos si una sustancia es un ácido o una base después de haber realizado las pruebas pertinentes.



**Ácidos** son aquellas sustancias que presentan las siguientes propiedades:

- \* Poseen un sabor agrio característico.
- \* Producen escozor o picor al contacto con la piel.
- \* Colorean de rojo el papel indicador.
- \* Dan un color característico con cada una de las sustancias conocidas como indicadores ácido-base.
- \* Reaccionan con muchos metales con formación de hidrógeno.
- \* Reaccionan con la caliza o el bicarbonato de sodio con formación de dióxido de carbono.
- \* Anulan las propiedades de las bases al mezclarse con ellas.

P



**Bases** son aquellas sustancias que presentan las siguientes propiedades:

- \* Poseen un sabor amargo.
- \* Tienen un tacto jabonoso al contacto con la piel.
- \* Colorean de azul el papel indicador.
- \* Dan un color característico con cada una de las sustancias conocidas como indicadores ácido-base.
- \* Anulan las propiedades de los ácidos al mezclarse con ellos.



El hidróxido de sodio es una base

**Sustancias neutras** son aquellas que no presentan el comportamiento característico de los ácidos ni de las bases.

## 7.1 Teoría de Arrhenius

Las definiciones anteriores son operacionales, en ellas se indican unos criterios u operaciones que debemos realizar a fin de poder clasificar una sustancia desconocida como ácido, base o sustancia neutra.

Las definiciones operacionales no proporcionan explicaciones de por qué una sustancia actúa como ácido o como base, por lo que su utilidad es bastante limitada. Existen otro tipo de definiciones que, en el marco de una teoría, establecen la clasificación basándose en una explicación de la razón por la que unas sustancias tienen propiedades ácidas o básicas.

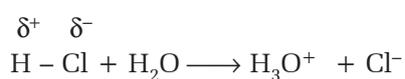
A partir de la segunda mitad del s. XIX se propusieron varias teorías intentando explicar el comportamiento de ácidos y bases. En este curso sólo vamos a estudiar una de ellas, que se puede comprender con los conocimientos que ya habéis adquirido. Se trata de la teoría de Arrhenius sobre ácidos y bases, basada en su teoría sobre la disociación de electrolitos que ya hemos estudiado.

Arrhenius definió los electrolitos como aquellas sustancias que al fundirlas o disolverlas en agua producían iones, partículas cargadas eléctricamente. Estos iones pueden estar presentes en la red cristalina y separarse en el proceso de disolución (caso de las sustancias iónicas), o bien se producen al reaccionar sustancias moleculares con el agua. Arrhenius definió los ácidos y bases del siguiente modo:

**Ácidos**, aquellas sustancias que al disolverse en agua producen iones hidronio,  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

**Bases**, aquellas sustancias que al disolverse en agua producen iones oxhidrilo,  $\text{OH}^-$ .

Los **ácidos** son sustancias moleculares, con enlaces muy polarizados de elementos no metálicos con el hidrógeno. Para que tengan propiedades ácidas debe existir bastante diferencia de electronegatividad, así ocurre en el caso del enlace cloro-hidrógeno, pero no en el caso del enlace carbono-hidrógeno, elementos de electronegatividades similares. Existe por lo tanto una tendencia a que el no metal se quede con la pareja de electrones, formándose el catión  $\text{H}^+$ ; esto ocurre por ejemplo al mezclarlo con el agua. El catión hidrógeno es muy inestable por lo que se asocia con una o más moléculas de agua, formando protones hidratados. El más simple es el hidrogenión o catión hidronio:



Svante Arrhenius (1859-1927)

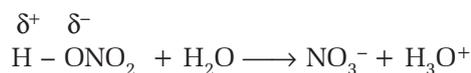


Ácido clorhídrico

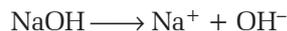
De esta forma, el cloruro de hidrógeno puro, que no conduce de ninguna forma la corriente eléctrica evidenciando que es una sustancia covalente o molecular, se ioniza al reaccionar con el agua produciendo el ion hidronio  $\text{H}_3\text{O}^+$ , que es el que da el carácter ácido a esa sustancia.

Conviene señalar que los ácidos, aunque sustancias covalentes, son fuertemente polares, ya que de otra forma no se explicaría la aparición de iones al disolverlos en agua. Podríamos decir que su estructura es intermedia entre el enlace iónico puro y el enlace covalente apolar puro. Esto está de acuerdo también con sus puntos de fusión y ebullición, ya que muchos son líquidos a temperatura ambiente, aunque con puntos de ebullición bajos (menores de 300 °C).

En los ácidos oxoácidos, en los que se encuentra un no metal unido al oxígeno y éste a su vez a un hidrógeno, como por ejemplo en el ácido nítrico  $\text{HNO}_3$ , la estructura de la molécula presenta una unión O-H que está también fuertemente polarizada.

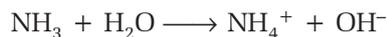


Las **bases** pueden ser sustancias iónicas o moleculares. Todos los hidróxidos son sustancias iónicas formadas por el anión oxhidrilo ( $\text{OH}^-$ ) y un catión metálico. Al disolverse en agua, se disocian en sus iones:



Así se produce el anión  $\text{OH}^-$  libre, que da el carácter básico a esas sustancias.

Existen sustancias moleculares o covalentes, como el amoníaco  $\text{NH}_3$ , que también son básicas. Arrhenius explica su comportamiento, al igual que con los ácidos, por su reacción con el agua:



Así, de nuevo, se produce el anión oxhidrilo.



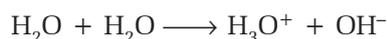
Ácido nítrico



Amoníaco

## 7.2 Comportamiento del agua pura

El agua pura tiene una conductividad muy baja, pero no nula, lo que nos lleva a suponer que tienen que existir iones, aunque sea en una concentración muy pequeña. El agua se autoioniza de la forma siguiente:



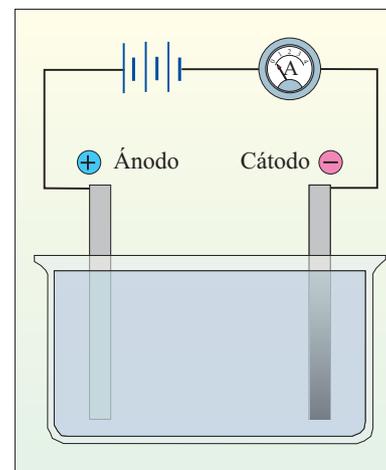
La proporción en la que ocurre esta ionización del agua es muy pequeña. De algo más de 500000000 de moléculas de agua tan sólo una se ioniza, lo que da lugar a una pequeñísima concentración de iones hidronio y de iones oxhidrilo. En el agua pura a la temperatura de 25 °C se cumple que:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/L}$$

Al ser iguales las concentraciones de ambos iones, el hidronio que proporciona el carácter ácido y el oxhidrilo, responsable del carácter básico, el agua pura no presenta características ácidas ni básicas, decimos que es **una sustancia neutra**. Las sustancias que al disolverse en agua no producen iones hidronio ni oxhidrilos se dice que son neutras.

El producto de la concentración de iones hidronio y oxhidrilo es una constante que sólo depende de la temperatura. Se le conoce con el nombre de **producto iónico del agua**,  $K_w$ , y su valor a 25 °C es:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-] = 10^{-14}$$



El agua pura tiene una conductividad muy baja.

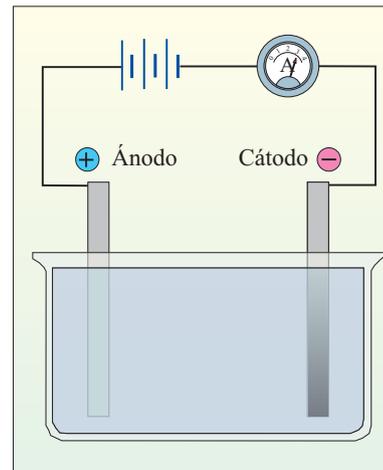
Cuando añadimos una sustancia que aporta iones hidronio, debe disminuir la concentración de oxhidrilos, ya que el producto de ambas concentraciones debe ser siempre  $10^{-14}$ . Lo mismo ocurre en el caso de que añadamos una sustancia que aporte iones oxhidrilo, entonces disminuye la concentración de iones hidronio, de forma que el producto de las concentraciones de ambos sea siempre  $10^{-14}$ .

P

**A.37.-** a) Intenta explicar por qué las siguientes sustancias son ácidos en disolución acuosa: ácido clorhídrico, nítrico, acético y sulfúrico.

b) Explica por qué las siguientes sustancias son básicas en disolución acuosa: hidróxido de calcio, hidróxido de hierro (III), óxido de calcio y amoníaco.

c) Intenta explicar por qué las siguientes sustancias no se comportan ni como ácidos ni como bases en disolución acuosa: cloruro de sodio, sulfato de potasio y butano (suponiendo que fuera soluble en agua).



Una disolución de agua con un ácido o una base conduce la corriente eléctrica.

## 7.3 Formulación de ácidos, aniones, hidróxidos y sales

### Ácidos

A continuación presentamos una lista de los ácidos más importantes, ya sea por sí mismos, o por las sales a que dan lugar. Los hemos dividido en dos grupos, los hidrácidos, formados por un no metal de los grupos VI o VII y el hidrógeno, y los oxoácidos, formados generalmente por un no metal, oxígeno e hidrógeno.

A la derecha hemos reflejado los aniones que proceden de cada ácido al perder protones (iones  $H^+$ ). Fíjate en que por cada protón perdido por el ácido, el anión adquiere una carga negativa. De esta forma conociendo los ácidos podrás formular sin dificultad tanto los aniones que pueden formar, como las sales que, a su vez, forman con los cationes.

Para los oxoácidos hemos prescindido de la nomenclatura sistemática, que es poco usada aún; aunque al final se añaden algunos ejemplos. Los nombres que damos pertenecen a la nomenclatura tradicional, llamada en este caso funcional.

#### a) HIDRÁCIDOS<sup>1</sup>

Sistemática	Funcional	Aniones
HF fluoruro de hidrógeno	ácido fluorhídrico	$F^-$ anión fluoruro
HCl cloruro de hidrógeno	" clorhídrico	$Cl^-$ " cloruro
HBr bromuro de hidrógeno	" bromhídrico	$Br^-$ " bromuro
HI yoduro de hidrógeno	" yodhídrico	$I^-$ " yoduro
$H_2S$ sulfuro de hidrógeno	" sulfhídrico	$HS^-$ anión hidrogenosulfuro o bisulfuro $S^{2-}$ " sulfuro
$H_2Se$ seleniuro de hidrógeno	" selenhídrico	$HSe^-$ anión hidrogenoseleniuro o biseleniuro $Se^{2-}$ " seleniuro
$H_2Te$ telururo de hidrógeno	" telurhídrico	$Te^{2-}$ " telururo

<sup>1</sup>A diferencia de los ácidos oxoácidos, se denominan ácidos hidrácidos a aquellos en cuyas moléculas no existen átomos de oxígeno.

## b) OXOÁCIDOS

	Funcional	Aniones
<b>Grupo VII</b>		
HClO	ácido hipocloroso	ClO <sup>-</sup> anión hipoclorito
HClO <sub>2</sub>	" cloroso	ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> " clorito
HClO <sub>3</sub>	" clórico	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> " clorato
HClO <sub>4</sub>	" perclórico	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> " perclorato

Con el bromo y el yodo se forman las mismas sustancias, aunque de algunas no se tienen pruebas claras de que existan: el ácido perbrómico y el anión perbromato o los ácidos bromoso y yodoso.

<b>Grupo VI</b>		
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	ácido sulfuroso	HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> anión hidrogenosulfito o bisulfito
		SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> " sulfito
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	" sulfúrico	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> " hidrogenosulfato o bisulfato
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> " sulfato
<b>Grupo V</b>		
HNO <sub>2</sub>	ácido nitroso	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> anión nitrito
HNO <sub>3</sub>	" nítrico	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> " nitrato
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	" fosfórico	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> " dihidrogenofosfato
		HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> " monohidrogenofosfato
		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> " fosfato
<b>Grupo IV</b>		
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	ácido carbónico <sup>1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> anión hidrogenocarbonato o bicarbonato
		CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> " carbonato
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	" silícico <sup>1</sup>	HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> " hidrogenosilicato o bisilicato
		SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> " silicato
<b>Grupo III</b>		
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	ácido bórico	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> anión borato
<b>Otros</b>		
HMnO <sub>4</sub>	ácido permangánico	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> anión permanganato
H <sub>2</sub> MnO <sub>4</sub>	" mangánico <sup>1</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> " manganato
H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	" crómico <sup>1</sup>	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> " cromato
H <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	" dicrómico <sup>1</sup>	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> " dicromato

<sup>1</sup>De estos ácidos no se conocen pruebas de su existencia, pero sí de sus aniones y sales correspondientes.



**A.38.-** Escribe la fórmula o el nombre de las siguientes especies químicas:

ácido nítrico	anión fosfato	ácido fosfórico
anión nitrato	ácido sulfúrico	ácido clorhídrico
anión permanganato	anión hidrogenocarbonato	ácido hipocloroso
anión bicarbonato	ácido bórico	ácido peryódico
$\text{Br}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{ClO}_4^-$
	$\text{HPO}_4^{2-}$	$\text{HSO}_3^-$
		$\text{ClO}_2^-$

Se encuentran apuntes de formulación y cuestionarios para comprobar tus conocimientos en la formulación de diferentes tipos de sustancias inorgánicas. También aparecen las recomendaciones de la IUPAC de 2005, que cambian la formulación de algunas sustancias.

## Hidróxidos

Son las combinaciones de los cationes metálicos y el anión oxhidrilo,  $\text{OH}^-$ , cuya valencia corresponde a la carga que porta,  $-1$ .

**Se nombran** como hidróxidos del catión metálico que acompaña. Se usa normalmente la nomenclatura de Stock, aunque también se puede usar la sistemática.

**Se formulan** colocando primero el metal y luego tantos grupos  $\text{OH}$  como carga o valencia tiene el catión.

	N. de Stock	N. sistemática
$\text{NaOH}$	hidróxido de sodio	hidróxido de sodio
$\text{Ca(OH)}_2$	hidróxido de calcio	hidróxido de calcio
$\text{Fe(OH)}_3$	hidróxido de hierro (III)	trihidróxido de hierro
$\text{Fe(OH)}_2$	hidróxido de hierro (II)	dihidróxido de hierro
$\text{NH}_4\text{OH}$	hidróxido de amonio	hidróxido de amonio

**A.39.-** Escribe la fórmula o el nombre de los siguientes compuestos:

hidróxido de cesio	trihidróxido de cromo	$\text{KOH}$	$\text{Ni(OH)}_2$
hidróxido de cobre (I)	hidróxido de aluminio	$\text{Au(OH)}_3$	$\text{Mg(OH)}_2$

## Sales

Son compuestos formados por la unión de cationes y aniones. **Se nombran** con la denominación del anión seguida de la del catión. **Se formulan** escribiendo primero el catión y después el anión, con los subíndices correspondientes para que sean eléctricamente neutras.

	Nombre funcional
$\text{KClO}$	hipoclorito de potasio
$\text{NH}_4\text{ClO}_2$	clorito de amonio
$\text{Cu(ClO}_3)_2$	clorato de cobre (II)
$\text{Pt(ClO}_4)_4$	perclorato de platino (IV)
$\text{Al}_2(\text{SO}_3)_3$	sulfito de aluminio
$\text{KMnO}_4$	permanganato de potasio
$\text{NaHCO}_3$	hidrogenocarbonato de sodio (bicarbonato sódico)
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	dihidrogenofosfato de potasio
$\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2$	dihidrogenofosfato de calcio
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	monohidrogenofosfato de potasio

**P** **A.40.-** Formula y nombra las sales formadas por los aniones:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , con los cationes:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{Al}^{3+}$ .

**P** **A.41.-** Escribe la fórmula o el nombre de los siguientes compuestos:

cromato de plata	sulfito de sodio	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$	$\text{PbSO}_3$
sulfuro de cobre (II)	permanganato de amonio	$\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$	$\text{CdHPO}_4$
hidrogenosulfato de bario	nitrito de cromo (III)	$\text{NaNO}_2$	$\text{BaCr}_2\text{O}_7$
hidrogenosulfuro de amonio	dicromato de potasio	$\text{CuCO}_3$	$\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$
hidrogenocarbonato de plata	sulfato de bismuto (III)	$\text{Mn}(\text{HSO}_4)_2$	$\text{BaHPO}_4$

## Nomenclatura sistemática para oxoácidos y sales

Comentamos aquí la nomenclatura propuesta por la IUPAC para conseguir la máxima sistematización en los nombres de los ácidos y de las sales.

**P** Tanto los ácidos como las sales se consideran compuestos formados por la unión de cationes y aniones, (en los ácidos el catión sería el hidrógeno).

**Se nombran** utilizando el nombre del anión terminado en «ato» y a continuación el del catión. El anión se nombra indicando mediante prefijos el número de oxígenos, seguido del no metal terminado en -ato, y se termina con el catión, indicando su número con prefijos.

	N. tradicional	N. sistemática
$\text{HIO}_3$	ácido yódico	trioxoyodato de hidrógeno
$\text{H}_2\text{SO}_4$	ácido sulfúrico	tetraoxosulfato de dihidrógeno
$\text{HNO}_3$	ácido nítrico	trioxonitrato de hidrógeno
$\text{H}_2\text{SiO}_3$	ácido silícico	trioxosilicato de dihidrógeno
$\text{H}_3\text{BO}_3$	ácido bórico	trioxoborato de trihidrógeno
$\text{NaClO}$	hipoclorito de sodio	oxoclorato de sodio
$\text{K}_2\text{SO}_3$	sulfito de potasio	trioxosulfato de dipotasio
$\text{LiNO}_2$	nitrito de litio	dioxonitrato de litio
$\text{CuSO}_4$	sulfato de cobre (II)	tetraoxosulfato de cobre
$\text{CaCO}_3$	carbonato de calcio	trioxocarbonato de calcio

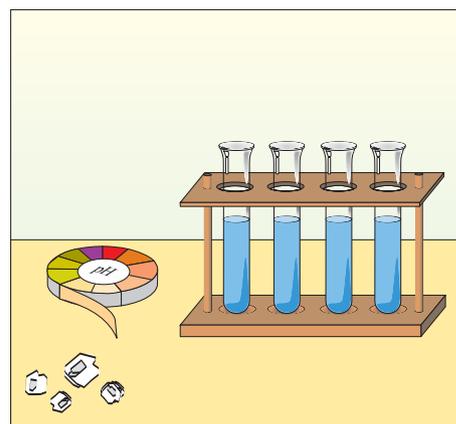
## 7.4 Grado de acidez. Concepto de pH

Cuando se comprueba experimentalmente el carácter ácido o básico de diversas disoluciones, no todas ellas actúan con la misma «actividad». Incluso en algunas ocasiones cuesta un poco de trabajo saber si en realidad se están comportando como ácidos, como bases o como sustancias neutras.

Ahora vamos a estudiar cómo podemos expresar el grado de acidez o basicidad de una disolución y los factores que influyen en el mismo.

**A.42.-** a) Prepara disoluciones 1 M, 0,1 M y 0,01 M de ácido clorhídrico. ¿Cómo lo harás si partimos de una disolución 1 M de HCl?

b) Comprueba su comportamiento con el papel indicador universal y con la piedra caliza. ¿Cuál te parece que tiene un mayor carácter ácido?

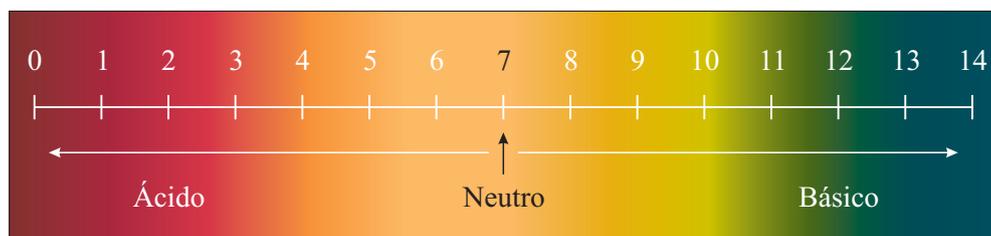


La concentración del ácido es un factor muy importante para saber el grado de acidez de una disolución. Teniendo en cuenta que quien actúa realmente como ácido es el catión hidronio,  $\text{H}_3\text{O}^+$ , diremos con más propiedad que la acidez de una disolución depende de la concentración de iones hidronio:  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ .

Como los valores de las concentraciones, cuando las disoluciones son diluidas, suelen ser números difíciles de comparar y operar, se adoptó un operador matemático, llamado pH, que las simplificaba, una vez aprendido su manejo.

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}_3\text{O}^+]$$

La medida de la acidez de una disolución se hace comparando su pH con el de una escala que aceptamos como patrón. La escala patrón se tomó midiendo la concentración de iones hidronio en el agua pura y aplicándole el operador pH, obteniéndose para el agua pura un valor de  $\text{pH} = 7$ . Si el agua contenía iones hidronio disueltos procedentes de un ácido, el pH iría disminuyendo hacia 0 y si contenía iones oxhidrilo procedentes de una base, el pH iría aumentando hacia el valor 14.



Tomando el agua como ejemplo de sustancia neutra, cualquier disolución que tenga un  $\text{pH} = 7$  será considerada neutra, y en ella existirá igual concentración de iones hidronio y de iones oxhidrilo.

La tabla adjunta recoge el pH de algunas disoluciones o mezclas comunes.



## 2.9

Se trata de un peachímetro «virtual». Se puede seleccionar la sustancia disuelta, el volumen y la concentración de esa disolución. Al insertar los electrodos se mide el pH de la disolución.

**P** **A.43.-** a) Indica el valor del pH de las siguientes disoluciones, señalando si son ácidas o básicas. a)  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,001 \text{ M}$ ; b)  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,002 \text{ M}$ ; c)  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8} \text{ M}$ ; d)  $[\text{OH}^-] = 0,001 \text{ M}$ .

b) Calcula la concentración de iones hidronio en las disoluciones A y B, cuyos pH son 5,3 y 12 respectivamente. ¿Cuál es la concentración de iones oxhidrilo en cada caso?

Los valores extremos 0 y 14 pueden ser superados si las concentraciones de ácidos y bases muy ionizadas, son muy altas.

Disolución	pH
Jugo gástrico	1,5
Coca-Cola	2,5
Zumo de limón	2,5
Vinagre	3
Vino blanco	4
Zumo de manzana	4
Saliva	7,3
Sangre	7,3-7,4
Agua de mar	8

### EJEMPLO

- a) Se disuelven 5 g de ácido sulfúrico en agua hasta un volumen de  $500 \text{ cm}^3$ . Calcula el pH de esa disolución.  
 b) Se disuelven 4 g de hidróxido de sodio en agua hasta un volumen de 1,5 L. Calcula el pH de esa disolución.

a) Puesto que tendremos que calcular la concentración de  $\text{H}_3\text{O}^+$  calcularemos previamente la cantidad de sustancia de ácido sulfúrico disuelta. La masa molar del ácido sulfúrico es  $M = 2 \cdot 1 + 32 + 4 \cdot 16 = 98 \text{ g/mol}$ .

$$n = \frac{5}{98} = 0,051 \text{ mol de moléculas de ácido sulfúrico}$$

Puesto que cada molécula de ácido sulfúrico tiene dos átomos de hidrógeno, cada mol de sulfúrico que se ionice en agua dará dos moles de  $\text{H}_3\text{O}^+$ , según podemos observar en la ecuación siguiente:



Por lo tanto, en esa disolución habrá, suponiendo ionización total del sulfúrico,  $2 \cdot 0,051 = 0,102 \text{ mol}$  de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Para calcular la concentración molar tendremos en cuenta que el volumen que ocupa es 0,5 L.

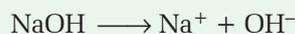
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{0,102}{0,5} = 0,204 \text{ M}$$

El pH será:  $\text{pH} = -\lg [\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 0,204 = 0,69$  que corresponde a una disolución fuertemente ácida.

b) Para calcular la cantidad de sustancia de hidróxido de sodio se procede de la forma habitual; se calcula primero la masa molar del hidróxido de sodio:  $M_{\text{NaOH}} = 23 + 16 + 1 = 40 \text{ g/mol}$ .

$$n = \frac{4}{40} = 0,1 \text{ mol de unidades fórmula de hidróxido de sodio}$$

Cada mol de unidades fórmula de hidróxido de sodio produce al disociarse un mol de iones  $\text{OH}^-$ , de acuerdo con la ecuación siguiente:



Por lo tanto, en la disolución habrá 0,1 mol de  $\text{OH}^-$ , por lo que la concentración molar será:  $[\text{OH}^-] = \frac{0,1}{1,5} = 0,067 \text{ M}$

Para calcular la  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  debemos tener en cuenta que  $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ , por lo tanto:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot 0,067 = 10^{-14}; \quad [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,5 \cdot 10^{-13} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 1,5 \cdot 10^{-13} = 12,82$$

Ese valor de pH corresponde a una disolución fuertemente básica.

P

**A.44.-** a) Calcula el pH de una disolución de ácido nítrico cuya concentración es 1,5 g/L.

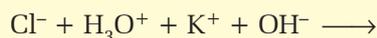
b) Disolvemos 0,3 g de hidróxido de bario en agua hasta enrasar un matraz aforado de 250 mL. Calcula el pH de la disolución.

## 7.5 Reacciones ácido-base

Cuando se hacen reaccionar un ácido con una base se neutralizan sus efectos y si evaporamos el agua obtenemos nuevas sustancias a las que llamamos **sales**.

**A.45.-** Mezclamos iguales cantidades de dos disoluciones, una de ácido clorhídrico y otra de hidróxido de potasio, ambas de la misma concentración.

a) Escribe los productos que se formarán cuando reaccionen entre sí.



Diseña una experiencia para comprobar que los productos son los previstos.

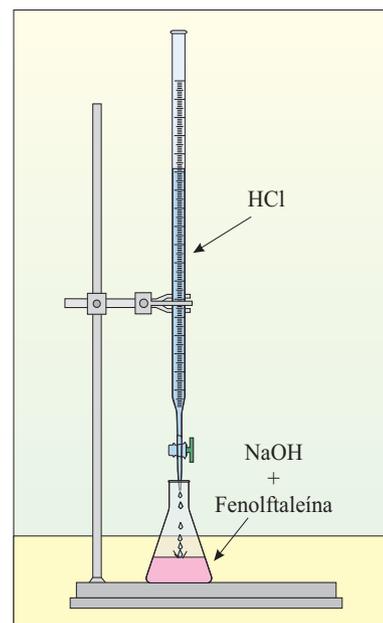
b) ¿Qué ocurriría si en lugar de mezclar cantidades iguales de ambas disoluciones, añadiésemos un mayor volumen de una de ellas o una de ellas tuviese una mayor concentración?

Al mezclar un ácido y una base, el «responsable ácido», el ion hidronio, reacciona con el «responsable básico», el ion oxhidrilo, y se forma agua. A estas reacciones se les llama neutralizaciones, pues desaparecen el ácido y la base y queda una disolución neutra. Como puedes observar en la reacción anterior, los iones cloruro y potasio no han sufrido ningún cambio: son iones **espectadores**. Ahora bien, si evaporamos el agua, se obtendrá la sal cloruro de potasio en estado sólido.

No siempre la disolución que queda después de llevar a cabo una reacción ácido-base es neutra. Si sobra ácido o base la disolución resultante será ácida o básica. Incluso aunque no sobre ninguna de esas sustancias, la disolución puede ser ácida o básica debido a reacciones de la sal, que se haya formado, con el agua.



Se trata de una simulación que permite realizar una valoración ácido-base «virtual». Se puede escoger el ácido y la base a reaccionar, cuál de ellos se coloca en la bureta, el indicador, etc.

Reacción del  $\text{NaHCO}_3$  con el  $\text{HCl}$ 

**A.46.-** Escribe los nombres de los productos que se obtienen y las ecuaciones químicas que corresponden a las siguientes reacciones.

- Hidróxido de sodio y ácido sulfúrico.
- Hidróxido de calcio y ácido clorhídrico.
- Hidróxido de amonio y ácido nítrico.
- Óxido de magnesio y ácido clórico.

¿Cómo podrías saber si se ha añadido suficiente cantidad de base para neutralizar todo el ácido? ¿Cómo podrías comprobar que los productos obtenidos son los que has indicado?

¿Qué cantidad de sustancia de base necesitamos para neutralizar 1 mol de ácido en cada uno de los casos anteriores?

**A.47.-** a) ¿Qué cantidad de sustancia de una base se necesita para neutralizar 200 mL de disolución 2 M de ácido sulfúrico?

b) Tenemos 10 g de bicarbonato de sodio,  $\text{NaHCO}_3$ . ¿Qué masa de ácido clorhídrico necesitamos para que reaccionen totalmente? ¿Qué volumen de dióxido de carbono se obtendrá medido en condiciones normales?

## 7.6 Valoraciones ácido-base

El proceso de neutralización puede emplearse para determinar la concentración de una disolución ácida o básica cuyo valor sea desconocido. Dado que en el procedimiento que se sigue se deben medir volúmenes, recibe también el nombre de volumetrías ácido-base.

**A.48.-** Desconoces la concentración de una disolución de hidróxido de sodio. Dispones de ácido clorhídrico cuya concentración es 1 M y del material de laboratorio necesario. ¿Qué harías para calcular la concentración de la disolución de hidróxido de sodio?

Al realizar la valoración de la disolución de hidróxido de sodio o cualquier otra, debes tener en cuenta que:

\* Para medir la concentración no es necesario que participe el conjunto de la muestra problema, es suficiente con tomar una parte ya que la concentración de la disolución será igual que la de una parte de ella.

\* Si al volumen de disolución problema tomado le añadimos agua para que se vea mejor el cambio de color, hemos cambiado la concentración, pero no la cantidad de sustancia problema que había en la muestra.

\* La sensibilidad de los indicadores es muy acusada. Con una gota de ácido o base cambia el color.

\* En el cálculo hay que conocer la estequiometría de la reacción que depende tanto del tipo de ácido como de la base que se emplee.

**A.49.-** El vinagre no es una sustancia pura, sino una disolución en la que los dos componentes principales son el ácido acético y el agua.

a) ¿Cómo podemos calcular la proporción de ácido acético que tiene un vinagre? Haz un diseño experimental y luego lleva a cabo la experiencia. Expresa la concentración molar de ácido acético.

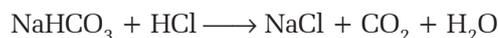
b) Si la densidad del vinagre es 1,05 g/mL, expresa la concentración de ácido acético en % en peso.

## La acidez de estómago y su tratamiento

En el estómago se secretan cerca de 3 L/día de jugo gástrico, necesarios para el proceso de digestión de los alimentos. Ese jugo gástrico contiene, entre otras sustancias, ácido clorhídrico, cuya concentración es tal que el pH del jugo gástrico es alrededor de 1. Eso supone un grado de acidez alto, de forma que podría producir daño en las paredes intestinales si éstas no estuviesen protegidas por una membrana que resiste la acción del ácido.

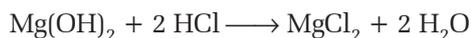
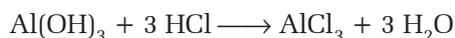
Cuando hay secreción excesiva de ácido, el pH del jugo gástrico disminuye aún más, de forma que la acidez del estómago aumenta. Se producen molestias, más o menos graves según la acidez del jugo gástrico, conocidas como acidez de estómago.

Para combatir la acidez debe evitarse tomar alimentos (sólidos o líquidos) ácidos y, en caso de que la acidez sea importante, se debe tomar alguna sustancia que pueda neutralizarla. Un antiácido «casero» puede ser el bicarbonato sódico. La reacción química que explica su eficacia es la siguiente:



como vemos es una reacción en la que se neutraliza el ácido, ya que las sustancias formadas son neutras.

Los antiácidos que se utilizan con más frecuencia contienen hidróxido de aluminio e hidróxido de magnesio, por ejemplo, el *Gastrosan* y el *Alugelibys magnesiado*, contienen esas sustancias junto con sacarina como excipiente. Los procesos por los que estas sustancias neutralizan al ácido clorhídrico son:



La razón de que incluyan las dos sustancias en lugar de una se debe a los efectos secundarios. El hidróxido de aluminio es astringente (tiende a producir estreñimiento) mientras que el hidróxido de magnesio es laxante (favorecen la evacuación de las heces fecales).

No debemos olvidar que los antiácidos son medicamentos y que pueden tener efectos secundarios negativos además de los beneficiosos que queremos producir. Aunque su peligrosidad no sea extrema si se toma esporádicamente, el uso continuo de antiácidos puede causar problemas renales por lo que, como siempre, debe consultarse al médico.

**A.50.-** a) ¿De qué color pondrían el papel indicador universal los jugos gástricos?  
b) ¿Se te ocurre otra sustancia que pudiera ser utilizada como antiácido?  
c) Intenta leer el prospecto de algún medicamento antiácido y anota el nombre del mismo, así como la composición que tiene.

Muchos elementos de nuestro organismo necesitan un pH determinado. Los cambios de pH pueden acarrear perjuicios para nuestra salud. Por ejemplo, podemos pensar en lo que ocurriría con un cambio en el grado de acidez de la saliva y su efecto sobre los dientes.

Los dientes están constituidos por sustancias de una gran dureza. La capa exterior de los dientes está formada por un esmalte que se hace más soluble en un medio ácido. Por eso, la saliva tiene un pH igual a 7,3 que es ligeramente básico y que protege los dientes. Si por cualquier circunstancia tenemos un medio ácido en la boca, como puede ocurrir al fermentar restos de comida o el azúcar de dulces y caramelos, el esmalte de los dientes se vea atacado dando lugar a las caries que suponen rupturas de la capa de esmalte y que permite que se ataque la zona interior del diente.

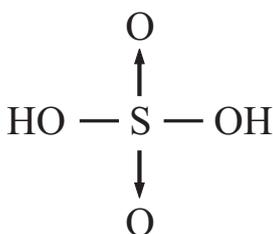


Un antiácido muy usado es el Almax cuyo principio activo es el almagato que es un preparado cristalino de hidroxicarbonato de aluminio hidratado, que actúa neutralizando el exceso de ácido clorhídrico gástrico y elevando, por ello, el pH.

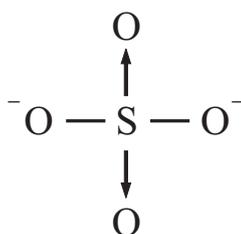
## 8

## EL ÁCIDO SULFÚRICO

El compuesto más importante de la industria química es el ácido sulfúrico. Tanto es así que se puede medir el grado de desarrollo industrial de un país por la cantidad del mismo que se consume. La fórmula es  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y cuando se disuelve en agua se ioniza fácilmente de manera que cada molécula de ácido da lugar a dos iones hidronio,  $\text{H}_3\text{O}^+$ , y a un anión sulfato  $\text{SO}_4^{2-}$ .



Molécula de ácido sulfúrico



Anión sulfato



Ácido sulfúrico

Es un líquido incoloro, aceitoso (se conocía antiguamente como aceite de vitriolo), de densidad 1,83 g/mL, que usualmente no lo tenemos puro sino en forma de disolución acuosa con una concentración del 98 %. Su punto de fusión es 10 °C y el de ebullición 317 °C.

La materia prima principal para la obtención del ácido sulfúrico es el azufre. Éste se somete a una serie de procesos en los que podemos distinguir las siguientes etapas:

1) Combustión del azufre para dar lugar a dióxido de azufre.

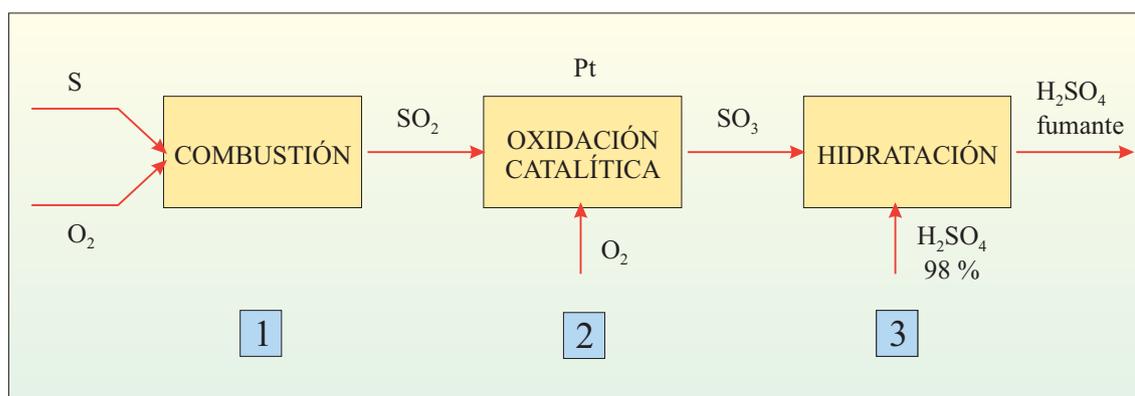
2) Oxidación catalítica del dióxido de azufre para dar lugar al trióxido de azufre.

Una vez purificado el dióxido de azufre se mezcla con aire y se calienta, lo que produce su oxidación. Esta reacción es demasiado lenta por lo que se efectúa en presencia de platino que permite que se haga más rápidamente. Las sustancias que como el platino en este caso, incrementan la velocidad con la que se produce una reacción química son llamadas **catalizadores**.

3) Hidratación del trióxido de azufre para dar el ácido. No se realiza directamente con agua, se utiliza ácido sulfúrico concentrado donde el trióxido de azufre se disuelve bien, y se regula la entrada de agua para mantener una determinada concentración del ácido sulfúrico a la salida.



Planta de fabricación de ácido sulfúrico.

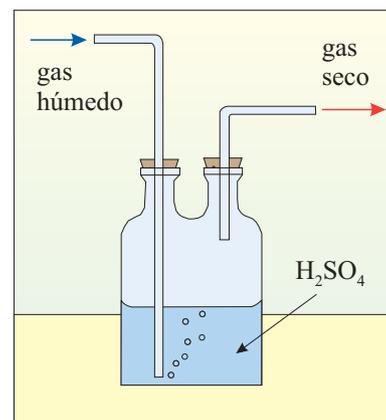


**A.51.-** a) Escribe las ecuaciones químicas correspondientes a los procesos químicos descritos en la obtención del ácido sulfúrico a partir de azufre.

b) Queremos obtener 1 kg de ácido sulfúrico del 98 % o lo que es lo mismo, 980 g de ácido sulfúrico puro. Suponiendo que el rendimiento en todas las reacciones sea del 100 %, ¿qué masa de azufre se necesita?, ¿qué volumen de oxígeno medido en condiciones normales? ¿qué masa de agua?

### Actuación del ácido sulfúrico como agente deshidratante

El ácido sulfúrico tiene una gran avidez por el agua, dando lugar a hidratos, constituidos por agrupaciones de la molécula del ácido con una o varias de agua. Se desprende gran cantidad de energía, 23,5 kcal por mol de ácido sulfúrico que se disuelve en agua. Por eso es conveniente disolver el ácido vertiéndolo poco a poco sobre el agua y esperando a que se enfríe. Si añadieramos agua sobre el ácido, la energía que se desprende es suficiente para vaporizar rápidamente el agua de forma que ésta se proyecta fuera del recipiente produciendo salpicaduras muy peligrosas. Esta avidez por el agua es la que permite que se utilice el ácido sulfúrico para desecar gases (que lleven mezclados agua y queramos eliminarla) e incluso es capaz de carbonizar los tejidos vivos o las sustancias orgánicas como el azúcar o el papel al formar moléculas de agua a partir de los átomos de hidrógeno y oxígeno que junto con el carbono formaban la molécula orgánica. Es, por tanto, muy peligroso cuando está concentrado produciendo quemaduras muy dolorosas.



P

**A.52.-** Observación de la carbonización de sacarosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) con ácido sulfúrico. Describe lo observado. Propón una ecuación que represente el proceso.

### Actuación del ácido sulfúrico como ácido

Se puede utilizar para atacar metales, limpiar los óxidos que recubren las superficies metálicas y como electrólito en las baterías.

Como ataca las sales de otros ácidos, se puede obtener ácido clorhídrico atacando al cloruro de sodio con ácido sulfúrico, según la reacción:



El ácido sulfúrico se utiliza en la fabricación de abonos como el sulfato amónico o los superfosfatos. También se utiliza en la obtención de plásticos, en la fabricación de colorantes, para fabricar otros ácidos como el clorhídrico o el nítrico, para fabricar sus sales, los sulfatos, para pinturas, explosivos, etc.

**A.53.-** Escribe la ecuación que representa la reacción de formación del sulfato de amonio a partir del ácido sulfúrico y del amoníaco. ¿Cuánto ácido sulfúrico se necesita para obtener 1000 kg de sulfato de amonio y qué volumen de disolución de amoníaco al 20 % en peso?

### Formación de las lluvias ácidas

Uno de los problemas ecológicos más graves que se vive en los países industrializados es la acidificación del agua de lluvia, o incluso de nieblas y rocíos. El pH de lluvia no contaminada es 5,6, ligeramente ácido, debido a que siempre disuelve



Sacarosa (azúcar común)



Carbonización de la sacarosa

dióxido de carbono presente en la atmósfera. En zonas cercanas a las centrales térmicas de carbón se han detectado aguas de lluvia con  $\text{pH} < 4,5$  e incluso más bajos. Eso supone una acidez mucho mayor que la del agua normal de lluvia.

El origen más importante de la acidez de estas lluvias está en el  $\text{SO}_2$  que escapa a la atmósfera en algunos procesos industriales. Por ejemplo, el azufre se encuentra impurificando el carbón que se quema en las centrales térmicas, o en las coquerías que producen el carbón de coke para los altos hornos. Al mismo tiempo que se quema el carbón, también se quema el azufre y se produce por lo tanto dióxido de azufre que va a la atmósfera. Éste es oxidado, con el dióxígeno del aire, pasando a trióxido de azufre que, mezclado con el agua, forma ácido sulfúrico. Otro proceso importante que contribuye a la acidificación del agua es la formación de ácido nítrico. Esto ocurre a partir del dinitrógeno atmosférico que, a la temperatura elevada a la que se producen las combustiones en los motores de los coches, puede producir óxidos de nitrógeno que, al oxidarse en la atmósfera, dan lugar al ácido nítrico.



La lluvia acidificada, o lluvia ácida, puede actuar directamente sobre la vegetación, atacando a las hojas de forma que éstas queden mucho más débiles y puedan ser atacadas por enfermedades. Además de ese ataque directo, resulta también muy importante la acción que tiene la lluvia sobre el suelo y sobre las aguas recogidas en lagos y lagunas. Cuando los suelos tienen una composición básica, por ejemplo, cuando son suelos calcáreos, pueden neutralizar al agua de lluvia y, de alguna manera, contrarrestar sus efectos, aunque al cabo del tiempo termine por agotarse el efecto neutralizador del suelo. Cuando la composición del suelo no es básica, no puede compensar la acidez de la lluvia y eso modifica la composición del suelo, dando lugar a la disolución de algunas sustancias que aportan iones metálicos como el plomo (II) o (IV), el cadmio, el cinc, el manganeso (II) o el aluminio. Estos iones son absorbidos por las plantas dañando su crecimiento, y, lo que es peor, se incorporan a la cadena trófica y pueden llegar hasta las personas.

Hay un problema añadido que es el hecho de que la lluvia cae en lugares distantes de donde se origina. Los vientos llevan las nubes lejos, incluso a países distintos, y allí es donde se perciben sus efectos. Por ejemplo, el Reino Unido emite a la atmósfera una gran cantidad de dióxido de azufre que, debido a los vientos dominantes, provoca lluvias ácidas que caen en los grandes bosques escandinavos lo que ha puesto en alerta a los gobiernos y a la opinión pública de estos países que han denunciado el caso ante los organismos internacionales.



En el mapa se pueden ver las zonas de producción principales (nubes), los vientos dominantes (flechas), daños en los bosques (árboles), daños en lagos y ríos (peces) y países que están dispuestos a invertir para disminuir las proyecciones de óxidos a la atmósfera (triángulos).

**A.54.-** ¿Cuáles son los países más interesados en disminuir la producción de electricidad mediante centrales térmicas?

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

**P** 1. a) Disolvemos 3 g de cloruro de hidrógeno puro en agua hasta un volumen de 500 mL. Calcula el pH de la disolución de ácido clorhídrico.

b) Disolvemos 0,2 g de hidróxido de sodio en agua hasta un volumen de 1 L. Calcula el pH de la disolución.  
a) pH = 0,78; b) pH = 11,7

**P** 2. Disolvemos 0,2 g de ácido sulfúrico del 20 % en agua hasta un volumen de 500 mL. Calcula el pH de la disolución.  
pH = 2,79

**P** 3. a) ¿Qué volumen de disolución de HCl 0,2 M es necesario para que reaccionen totalmente 0,17 g de carbonato de calcio?

b) ¿Cuánto sulfato de cobre (II) se obtendrá si reaccionan 100 mL de ácido sulfúrico 0,2 M con óxido de cobre (II)?  
a) V = 17 mL; b) m = 3,19 g

**P** 4. a) Un vinagre comercial tiene un 6 % en peso de ácido acético. Calcula el volumen de disolución de NaOH, 0,1 M que necesitamos para neutralizar 1 g de ese vinagre.

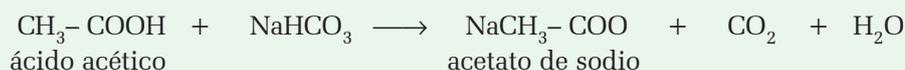
b) ¿Qué volumen de ácido clorhídrico 1 M se necesita para neutralizar 100 mL de hidróxido de calcio 0,2 M?  
a) V = 10 mL; b) V = 40 mL

**P** 5. a) En el mismo recipiente ponemos 100 mL de ácido bromhídrico 0,1 M y 100 mL de disolución de hidróxido de potasio 0,2 M, ¿la disolución resultante será ácida, básica o neutra? Explica por qué.

b) En otro recipiente ponemos 100 mL de ácido sulfúrico 0,2 M y 150 mL de hidróxido de sodio 0,2 M, ¿la disolución resultante será ácida, básica o neutra? Explica por qué.

a) Básica; b) Ácida

**P** 6. La ecuación química que representa al proceso entre el ácido acético y el bicarbonato de sodio es:



¿Qué cantidad de vinagre, del 5 % en acético, es necesaria para neutralizar 2 g de bicarbonato de sodio?

m = 28,57 g

**P** 7. Queremos saber el porcentaje en peso de hidróxido de amonio en un detergente doméstico. Tomamos 11 g del detergente y para neutralizarlo gastamos 28,0 mL de ácido clorhídrico 0,2 M.

a) ¿Cómo sabemos que se ha neutralizado todo el hidróxido de amonio?

b) Calcula la cantidad de sustancia de hidróxido de amonio que había en los 11 g de detergente.

c) Calcula el porcentaje en peso del hidróxido de amonio en el detergente.

b) 0,0056 mol de unidades fórmula de hidróxido de amonio, c) 1,8 %

**P** 8. Escribe la fórmula de las siguientes especies químicas:

bromuro de cromo (III)	hidróxido de magnesio	hidrógenocarbonato de sodio
óxido de calcio	óxido de cobre (I)	anión yodito
peróxido de cinc	tricloruro de nitrógeno	ácido fosfórico
dicromato de potasio	monóxido de nitrógeno	seleniuro de cadmio
ácido sulfúrico	nitruro de magnesio	anión bromuro
nitrato de mercurio (II)	anión bisulfato	fluoruro de hidrógeno
dicloruro de platino	óxido de plomo (IV)	monóxido de carbono
cation amonio	cation oro (III)	hidróxido de hierro (III)

**P** 9. Escribe el nombre de las siguientes especies químicas:

Li <sub>2</sub> O	NaH	PtCl <sub>4</sub>	KClO <sub>4</sub>	Zn(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
PH <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Cr <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> Se	CoO
SiH <sub>4</sub>	HI	Mg(ClO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaS	Al(OH) <sub>3</sub>	PCl <sub>5</sub>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	CuO	HIO	F <sup>-</sup>	Ba <sup>2+</sup>	OH <sup>-</sup>

## 9

## REACCIONES DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

Son reacciones de oxidación-reducción las combustiones, los procesos de respiración de los seres vivos, los procesos de obtención de metales, los fenómenos de corrosión metálica, los que se producen en las pilas y baterías eléctricas y los fenómenos electrolíticos. En la Historia de la Ciencia han jugado un importante papel, ya que su estudio estableció los primeros indicios de las relaciones que existen entre la electricidad, la estructura atómica y el enlace químico.

**A.55.-** Cuando, durante algún tiempo, se deja un trozo de hierro a la intemperie decimos que se ha «oxidado». Se ha transformado, al menos superficialmente, en óxido de hierro (III).

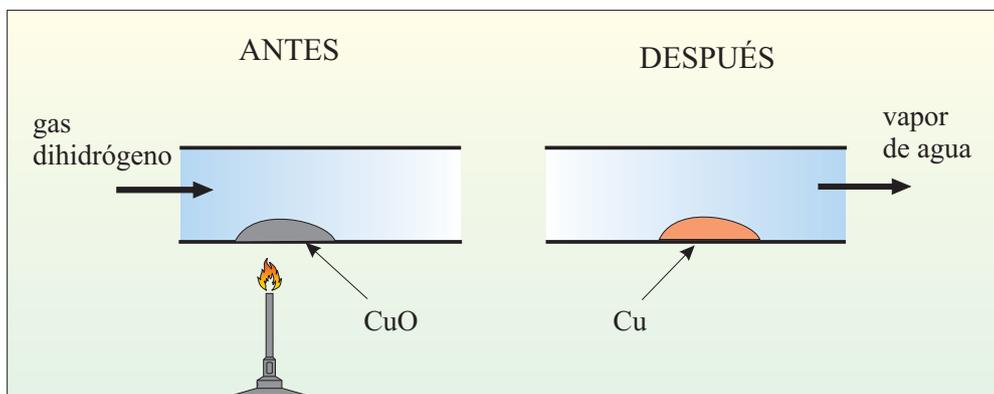
En la combustión del carbón se produce dióxido de carbono.

- Escribe y ajusta las dos ecuaciones químicas. ¿Qué tienen en común?
- ¿Cómo definirías la «oxidación»?

**A.56.-** La figura representa un dispositivo que permite hacer reaccionar óxido de cobre (II) con dihidrógeno. Para que esa reacción se lleve a cabo es necesario calentar enérgicamente el óxido de cobre (II); a medida que pasa el dihidrógeno, el color negruzco del óxido va cambiando al color rojizo del cobre. A este proceso se le denomina reducción del óxido de cobre (II).

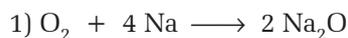
Algo similar ocurre en un alto horno, al calentar el óxido de hierro (III) con carbón, obteniéndose hierro metálico. Se le llama reducción del óxido de hierro (III).

Escribe las ecuaciones químicas ajustadas. ¿Cómo definirías la «reducción»?



Durante mucho tiempo se llamó reacción de oxidación a aquella en la que una sustancia «ganaba» oxígeno, y reacción de reducción a la que tenía como resultado la «pérdida» de oxígeno. Fíjate que en una misma reacción ocurren los dos fenómenos, pues si una sustancia pierde oxígeno, ese oxígeno ha debido ser ganado por otra sustancia. Por eso a este tipo de reacciones se les llama de **oxidación-reducción** o **reacciones redox**.

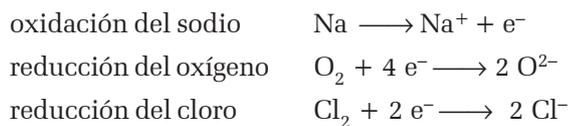
Muchas reacciones entre metales y no metales, como por ejemplo las reacciones entre el dicloro y el sodio, entre el difluor y el calcio, tienen características similares a la oxidación del sodio o del calcio.



es parecida a



Analizando lo que tienen en común ambas reacciones, los químicos pensaron que, en ambos casos, había elementos que ganaban electrones y otros que perdían electrones. Fíjate que en 1), el sodio metálico pasa a catión sodio,  $\text{Na}^+$ , perdiendo un electrón. Lo mismo en 2), pierde un electrón para pasar a  $\text{Na}^+$ . De ahí que podamos decir que **oxidación**, en un sentido amplio, **es la pérdida de electrones**. Por el contrario, en 1) el oxígeno pasa a anión óxido,  $\text{O}^{2-}$ , ganando dos electrones. En 2) el cloro pasa a anión cloruro,  $\text{Cl}^-$ , ganando también los electrones que pierde el sodio. En sentido amplio, diremos que **reducción es la ganancia de electrones**.



Por la forma en la que se han definido, las reacciones de oxidación-reducción tienen que ir siempre juntas, pues para que un átomo o grupo de átomos pueda ganar electrones es necesario que haya otros que los pierdan, y viceversa.

P

**A.57.-** Introduce un trozo de cinc en un tubo de ensayo o en un vaso que contenga una disolución de sulfato de cobre (II). Describe los cambios observados. Escribe y ajusta la ecuación química. Interpreta los procesos electrónicos que han tenido lugar.

Las reacciones de oxidación-reducción pueden separarse en dos semirreacciones. Una semirreacción de **oxidación**, en la que una especie química, **el reductor**, pierde electrones, y otra de **reducción**, en la que otra especie química, **el oxidante**, gana electrones.

P

**A.58.-** Escribe las ecuaciones químicas que representan los procesos siguientes. Indica en cada caso qué especie química actúa como oxidante y qué especie actúa como reductor. Escribe las semirreacciones de oxidación y de reducción.

- Oxidación del hierro para dar óxido de hierro (III).
- Reacción entre el dibromo y el magnesio para dar dibromuro de magnesio.
- Reducción del óxido de cobre con dihidrógeno.

La definición de oxidante y reductor como aquellas especies químicas que ganan y pierden electrones respectivamente, es válida siempre que los enlaces sean iónicos. Así ocurre en los ejemplos a) y b) de la actividad anterior. Pero, ¿cómo explicar las reacciones redox cuando se ven involucrados enlaces covalentes? En el apartado c), si bien el catión cobre (II) gana electrones, no podemos afirmar que el hidrógeno pierde electrones pues sólo los comparte con el oxígeno. Ahora bien, debido a la distinta electronegatividad de ambos elementos, los electrones compartidos están más cercanos al oxígeno que al hidrógeno, la molécula de agua está polarizada. En este caso no podemos decir que el hidrógeno «pierde totalmente» los electrones, sólo «los pierde parcialmente». Pero aunque sea una pérdida parcial, sí podemos decir que el hidrógeno ha sufrido un proceso de oxidación.

P

Para evitar problemas cuando queremos determinar si una reacción química es redox, o cuál es el oxidante o el reductor cuando intervienen sustancias moleculares, se ha creado un concepto, el **número de oxidación** de cada átomo, que facilita esta cuestión. Cuando no hay cambios en el número de oxidación de ningún átomo de los



Reacción redox entre el sulfato de cobre (II) y el cinc. Se produce cobre sólido sobre la lámina de cinc.



## 2.11

En la simulación puede observarse lo que ocurre al colocar diferentes metales en diferentes disoluciones. Además da la interpretación a nivel atómico de esos procesos, con el intercambio de electrones correspondientes.

que intervienen en la reacción, la reacción no es redox. Si aumenta el número de oxidación de un átomo, quiere decir que se ha oxidado (es el reductor), cuando disminuye, el átomo se reduce (es el oxidante).

Para conocer los números de oxidación hay unas **reglas** sencillas:

a) El número de oxidación de los átomos de las sustancias simples es cero.

b) El número de oxidación de un ion monoatómico coincide con su carga.

c) La suma algebraica de los valores obtenidos al multiplicar el número de oxidación de cada átomo por el número de átomos de esa clase es cero, si se trata de una molécula, o es igual a la carga eléctrica si se trata de un ion poliatómico.

d) En las moléculas que contienen átomos de hidrógeno, el número de oxidación del hidrógeno es 1 (en los hidruros metálicos es -1).

e) En las moléculas que contienen átomos de oxígeno, el número de oxidación del oxígeno es -2 (en los peróxidos es -1).

## EJEMPLO

Escribe el número de oxidación de todos los átomos de cada una de las especies químicas siguientes: a) Dinitrógeno, b) hierro, c) dióxido de azufre, d) sulfuro de dihidrógeno, e) ácido perclórico, f) anión nitrato.

a) El número de oxidación del nitrógeno es 0 ya que forma parte de una sustancia simple.

b) El número de oxidación del hierro es 0 ya que forma parte de una sustancia simple.

c) En el  $\text{SO}_2$  el número de oxidación del oxígeno es -2. Puesto que se trata de una molécula, si llamamos x al número de oxidación del azufre, se debe cumplir:  $x + 2(-2) = 0$ .

Así se obtiene que el número de oxidación del azufre es 4.

d) En el  $\text{H}_2\text{S}$ , el número de oxidación del hidrógeno es +1. Puesto que se trata de una molécula, si llamamos x al número de oxidación del azufre, se debe cumplir:  $x + 2(1) = 0$ .

Así se obtiene que el número de oxidación del azufre es -2.

e) En el  $\text{HClO}_4$ , el número de oxidación del hidrógeno es +1 y el del oxígeno -2. Igual que en los apartados anteriores, si llamamos x al número de oxidación del cloro, se debe cumplir:  $x + 1(+1) + 4(-2) = 0$ .

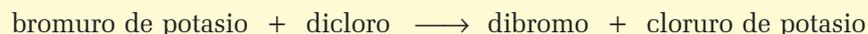
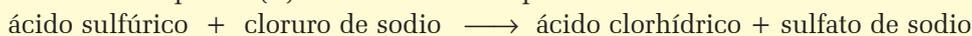
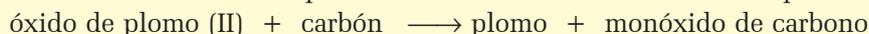
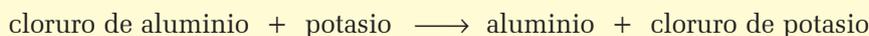
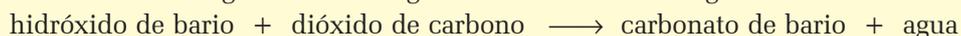
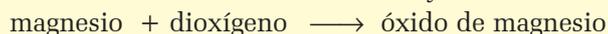
Así se obtiene que el número de oxidación del cloro es +7.

f) En el  $\text{NO}_3^-$ , el número de oxidación del oxígeno es -2. Procederemos igual que en los apartados anteriores, teniendo en cuenta que como se trata de un ion se debe cumplir:  $x + 3(-2) = -1$ .

Así se obtiene que el número de oxidación del nitrógeno es +5.

**A.59.-** Escribe el número de oxidación de cada uno de los átomos que forman las siguientes sustancias: ácido nítrico, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, sulfato de calcio, permanganato de potasio, metano y dióxido de carbono.

**A.60.-** Escribe el número de oxidación de cada uno de los átomos que forman las sustancias que participan en las siguientes reacciones químicas. Indica cuáles son redox e indica en cada caso cuál es el oxidante y cuál es el reductor:



Vamos a enfocar el estudio de la combustión de forma que sirva como repaso de los principales conceptos que hemos estudiado en este capítulo.

Las reacciones de combustión son aquellas en las que una sustancia, llamada **combustible**, reacciona con otra, llamada **comburente**, produciendo en la mayoría de los casos las sustancias dióxido de carbono y agua. Esa reacción va acompañada de «cesión de energía» generalmente como radiación térmica y/o luminosa. Ejemplos de combustibles pueden ser el carbón, el gas natural, las gasolinas, etc., y como comburentes, además del aire que es la principal fuente de dióxígeno, podemos utilizar nitrato de potasio, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, etc.

Un ejemplo típico de reacción de combustión puede ser la reacción del heptano ( $C_7H_{16}$ ), una de las sustancias que forma parte de la gasolina, con el dióxígeno. La ecuación que representa la reacción la escribimos como sigue:



Los productos que se obtienen, dióxido de carbono y agua, son típicos de la mayoría de las reacciones de combustión. En principio, el objetivo de estas reacciones no es la obtención de esos productos sino su utilización como fuente energética.

**A.61.-** a) ¿La reacción de combustión del heptano es endotérmica o exotérmica?, ¿cuando los productos de la reacción se encuentren a 20 °C y 1 atm de presión, tendrán más, la misma o menos energía que los reactivos de esa reacción a la misma temperatura y presión, 20 °C y 1 atm? Explica por qué.

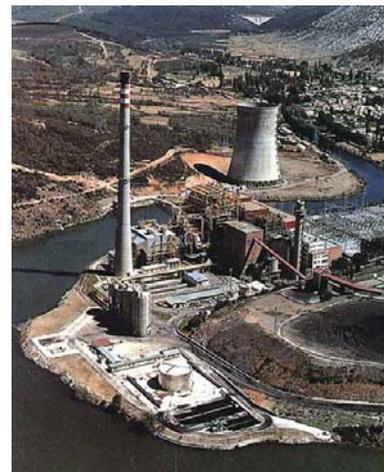
b) Teniendo en cuenta que la densidad del heptano es 0,6837 g/cm<sup>3</sup> a la temperatura de 20 °C, calcula la energía máxima que se podrá aprovechar de la combustión de 1 L de heptano.

c) Se dice que la quema de combustibles fósiles contribuye al aumento del efecto invernadero. Explica por qué y las posibles consecuencias.

El heptano es líquido a temperatura ambiente, igual que la gasolina de la que forma parte. Aunque la gasolina arde en estado líquido, en los motores de combustión interna la gasolina se vaporiza antes de que se queme. Ese proceso se lleva a cabo en el «carburador» en el que se forma una mezcla de gasolina y de aire. De igual manera, en las centrales térmicas que utilizan carbón sólido como combustible, pulverizan el carbón antes de mezclarlo con el aire para que se queme. Se llaman centrales de lecho fluidificado, ya que el carbón en ese grado de división se comporta prácticamente como un fluido. En otras ocasiones se utiliza como comburente dióxígeno puro en lugar de aire. Por ejemplo en el soplete oxiacetilénico, en el que se utiliza como combustible acetileno y como comburente dióxígeno o en la soldadura oxihídrica, en la que el dihidrógeno se quema con dióxígeno puro.

**A.62.-** ¿Qué crees que se pretende al vaporizar la gasolina y mezclarla con el aire en el carburador?, ¿y al dividir el carbón en granos tan pequeños?, ¿y al usar dióxígeno puro en lugar de aire?, ¿y al calentar el aire antes de utilizarlo en las calderas de las centrales térmicas?

Aunque las reacciones de combustión son exotérmicas, en la mayoría de los casos, hay que «iniciarlas». Es decir, necesitamos calentar la mezcla de combustible y comburente hasta que alcanza una determinada temperatura, llamada temperatura de



En las centrales térmicas se producen reacciones de combustión.



Carburador

ignición, momento a partir del cual podemos dejar de calentar y la combustión se mantiene. Así ocurre cuando acercamos una cerilla al gas que sale de la hornilla, utilizamos una «pastilla» para encender la chimenea o «salta la chispa» producida por la bujía en el motor de un coche.

**A.63.-** ¿Hay contradicción entre el que las reacciones de combustión sean exotérmicas y que haya que «encender» para que se inicie la reacción? Explica con ayuda de la teoría de colisiones, que hemos utilizado para interpretar las reacciones químicas, la necesidad de alcanzar la «temperatura de ignición».

Generalmente, en las combustiones el «reactivo limitante» es el combustible, ya que se supone que siempre tenemos el aire necesario. Sin embargo, en ocasiones aunque se disponga de cantidad suficiente de aire el problema es que el aire no accede hasta donde está el combustible. En esos casos se producen combustiones «defectuosas» o parciales. Un ejemplo de lo anterior es la producción de «hollín» cuando no se produce la mezcla adecuada del combustible y el aire, lo que puede suceder en el motor de un coche, en el mechero del laboratorio o en la hornilla de butano de la casa. Ese «hollín» está formado principalmente por carbón sólido.

Especialmente importante es la producción de monóxido de carbono (CO), cuando la combustión se produce sin el dióxigeno necesario. El monóxido de carbono es una sustancia tóxica que puede producir la muerte.

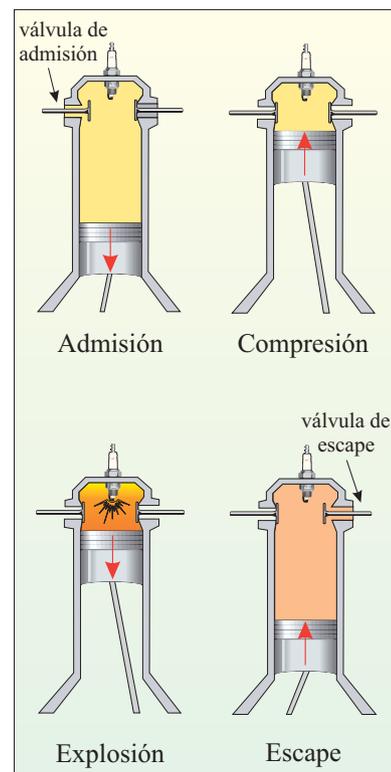
A continuación te proponemos algunos cálculos relacionados con la combustión de la gasolina en un motor de combustión interna. Para simplificar, consideraremos la gasolina formada sólo por heptano. Supongamos que el cilindro del coche, cámara donde se produce la combustión, tiene un volumen máximo de  $1800 \text{ cm}^3$ , y que la relación de compresión de ese motor es de 10:1. La relación de compresión es la relación entre el volumen de gases que caben en el cilindro cuando se encuentra al final del período de admisión de gases y el volumen de esos gases cuando el émbolo ha llegado al final del recorrido en el período de compresión. Aunque la situación real que se produce es mucho más compleja, supondremos que los gases que entran en el cilindro, heptano mezclado con dióxigeno y dinitrógeno atmosféricos lo hacen en la proporción estequiométrica adecuada, que se mantienen a  $20 \text{ °C}$  antes de la explosión y que están a  $600 \text{ °C}$  después de la explosión.

**A.64.-** Supongamos que en cada ciclo entra en el cilindro del motor, cuyas características se han descrito en el párrafo anterior, 0,1 gramos de heptano, acompañado de dióxigeno en proporción estequiométrica y del dinitrógeno que acompaña a ese dióxigeno.

- ¿Qué cantidad de sustancia de dióxigeno entra en cada ciclo?, ¿y de dinitrógeno?
- ¿Qué presión existirá en el interior del cilindro una vez que se ha llenado con esa mezcla de gases?, ¿qué presión existirá cuando se reduzca el volumen diez veces, si la temperatura no cambia?
- ¿Qué presión existirá en el interior del cilindro una vez que se haya producido la combustión de todo el heptano, suponiendo que la temperatura sea ahora de  $600 \text{ °C}$  y que el émbolo sigue en la misma posición que ocupaba al final del período de compresión?

La reacción de combustión es un caso particular de las reacciones que hemos llamado redox. El combustible es el reductor y el comburente el oxidante.

**A.65.-** En la reacción de combustión del heptano identifica los elementos que cambian su número de oxidación. De acuerdo con ello, qué sustancia sería el oxidante y qué sustancia sería el reductor.



Las cuatro etapas fundamentales que se pueden considerar en el funcionamiento de un motor de explosión de cuatro tiempos.

# 2

# LA QUÍMICA DEL CARBONO



## IDEAS PRINCIPALES

- El vitalismo
- Enlaces simple, doble y triple del carbono
- Grupo funcional
- Isomería de cadena, de posición y de función
- Hidrocarburos saturados e insaturados
- Hidrocarburos aromáticos
- El carbón y el petróleo
- Funciones oxigenadas

La química orgánica se ha convertido en una de las partes más importantes de la química. Piensa en la cantidad de sustancias orgánicas que existen y en la posibilidad de preparar muchísimas de ellas prácticamente con las propiedades que más nos interesen para un fin determinado (plásticos, fibras sintéticas, etc.). Si a eso añades su protagonismo en las reacciones que tienen lugar en los seres vivos y las posibles aplicaciones derivadas de ellas (medicina, farmacia, etc.), puedes comprender que no hemos exagerado al destacar su importancia.

En esta unidad hacemos una introducción a la química orgánica, comenzando con el estudio de las propiedades que hacen del carbono un elemento especial, los enlaces que pueden darse entre sus átomos y conceptos fundamentales como los de grupo funcional, isomería, etc. Terminamos con una descripción breve de las principales funciones orgánicas y con las reglas para formulación y nomenclatura de sustancias orgánicas.

# 1

## LA QUÍMICA ORGÁNICA

Los pueblos egipcio, romano y fenicio utilizaban colorantes para teñir telas como el índigo, la alizarina o la púrpura de Tiro. El azúcar de la caña dulce, el alcohol del vino, el vinagre que contiene ácido acético o los aceites y grasas animales, así como el procedimiento de obtención de jabones, eran conocidos desde hacía muchos siglos.

En la segunda mitad del siglo XVIII, Scheele (1742-86) pudo aislar algunas de estas sustancias en estado puro: el ácido tartárico del zumo de uva, el ácido cítrico del jugo de limón, el ácido láctico de la leche agria o el ácido úrico de la orina, entre otras.

Lavoisier, en sus estudios sobre la combustión, pudo determinar que en todas estas sustancias, provenientes de seres vivos, participaban el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno.

El hecho de que todas las sustancias que provenían de los seres organizados, animales o vegetales, estuvieran formadas por los mismos elementos, además de ser combustibles y, al mismo tiempo, de fácil descomposición al calentarlas, características que las diferenciaban de las sustancias del mundo mineral, «no vivo», hizo que naciera una clasificación en **sustancias orgánicas e inorgánicas**. Bergman (1735-84) expresó por primera vez esta distinción y Berzelius (1779-1848) propuso la expresión «Química Orgánica» para referirse al estudio de las sustancias que constituían los seres vivos o provenían de ellos.

Dado que las primeras sustancias orgánicas fueron aisladas como productos de los procesos vitales, durante el siglo XVIII se creía que estas sustancias poseían una «fuerza vital» que sólo permitiría a las células de los organismos vivos sintetizarlas. Por ello, en ese siglo se desarrolló mucho más la química de los compuestos inorgánicos con la búsqueda de nuevos elementos químicos y la síntesis artificial de sus compuestos, pues los químicos estaban persuadidos de la imposibilidad de sintetizar compuestos orgánicos en el laboratorio.

La teoría del **vitalismo**, es decir, la hipótesis de la necesidad imprescindible de la «fuerza vital» para sintetizar sustancias orgánicas había sido difundida un siglo antes por el químico alemán Stahl (1660-1734) y comenzó a decaer en 1828 cuando el químico alemán Wöhler (1800-82) sintetizó la urea.

La obtención de la urea no acabó con el vitalismo, pero hizo que algunos químicos abrieran una línea de investigación intentando obtener en el laboratorio nuevas sustancias orgánicas. Así, un alumno de Wöhler, Kolbe (1818-84) logró, a partir de sustancias inorgánicas, la síntesis del ácido acético, y Berthelot (1827-1907) en 1860 publicó su obra *Chimie organique fondée sur la synthèse*, donde detallaba los procedimientos para obtener sustancias orgánicas como el alcohol metílico, el alcohol etílico, el metano, el benceno o el acetileno. A partir de aquí la generalidad de los químicos abandonaron las ideas del vitalismo y comenzó el desarrollo de la química orgánica.

La denominación de «orgánico» perdió su sentido original al poder sintetizarse las sustancias de origen animal o vegetal en el laboratorio, y más aún, cuando se comenzaron a sintetizar sustancias muy parecidas a las orgánicas pero que no existían en los organismos vivos. El químico francés Cherveul (1786-1889) había estudiado largamente las grasas y pudo aislar a partir de ellas la glicerina y los ácidos grasos, cuya combinación química producía las grasas y aceites. En 1854 Berthelot calentó ácidos orgánicos semejantes a los aislados de las grasas con glicerina y obtuvo sustancias muy parecidas a las grasas naturales y distintas de todas ellas. Comenzó así el estudio de la obtención de sustancias orgánicas artificiales que no habían sido producidas por ningún organismo vivo.



La acidez del zumo de limón se debe al ácido cítrico.



Alcohol etílico (etanol)

Establecida la unidad fundamental de todas las sustancias, independiente de su origen orgánico o inorgánico, conviene señalar que hay algunas características generales que permiten establecer algunas diferencias, que de alguna manera justifican el que en los cursos de química se incluya un capítulo dedicado exclusivamente a la química de «las sustancias orgánicas». Entre esas diferencias caben señalar las técnicas experimentales que se utilizan en la obtención y estudio de las diferentes sustancias, o el que la estructura de las «moléculas orgánicas» sea por lo general mucho más compleja que las de las inorgánicas, dando lugar a sustancias de una masa molecular muy elevada a pesar de que en esas moléculas participen pocos elementos. El carbono siempre se encuentra presente, el hidrógeno en casi todas, el oxígeno en muchas y también el nitrógeno. En menor escala pueden aparecer los halógenos, el azufre, el fósforo y otros elementos. En 1861 el químico alemán Kekulé (1829-86) definió la química orgánica simplemente como la química de los compuestos del carbono, definición que es hoy día aceptada aunque algunas sustancias como el dióxido del carbono, el monóxido de carbono o los carbonatos se estudian dentro de los compuestos inorgánicos.

- A.1.-** a) Indica algunos compuestos del carbono que se conozcan desde antiguo.  
b) ¿Qué diferencias existen entre los compuestos del carbono y los inorgánicos?  
c) ¿Crees que todas las sustancias orgánicas podrían, teóricamente, ser sintetizadas en el laboratorio o por el contrario, hay algunas que sólo pueden ser sintetizadas por los seres vivos?  
d) ¿Cuáles son las bases del vitalismo? ¿Por qué se abandonó esta teoría?  
e) ¿Qué elementos químicos son los que constituyen, con más frecuencia, las moléculas de los compuestos del carbono?



Los tintes empleados para teñir tejidos y alfombras eran conocidos desde antiguo.

## 2

## LOS ENLACES DEL CARBONO

Hoy día se conocen más de un millón de compuestos del carbono entre los naturales y los obtenidos sintéticamente en los laboratorios. Para explicar cómo, con la participación del carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno, fundamentalmente, se pueden formar tal cantidad de moléculas distintas será preciso analizar las características de los enlaces entre estos elementos.

- A.2.-** a) Las moléculas de los compuestos orgánicos están formadas generalmente por los elementos carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Razona qué tipos de enlace se pueden producir entre estos elementos. ¿Cuáles serán las características generales de los compuestos de carbono?  
b) Dado el lugar que ocupa el carbono en la Tabla Periódica, ¿qué número de enlaces podrá tener con otros elementos?

El carbono se encuentra en el grupo 14 de la Tabla Periódica por lo que sus átomos tienen cuatro electrones en su último nivel energético. Puede formar enlaces covalentes compartiendo esos electrones con los de otros átomos. La característica excepcional de los átomos de carbono es que pueden enlazarse entre sí formando cadenas largas, cadenas ramificadas o anillos. Estos enlaces presentan una gran estabilidad. De hecho el enlace C–C es el más fuerte conocido después del H–H, que se da entre átomos iguales unidos al compartir un par de electrones. En la siguiente tabla se pueden ver algunos ejemplos de sustancias orgánicas con un gran número de carbonos para formar una cadena de bastante longitud.



### 2.12

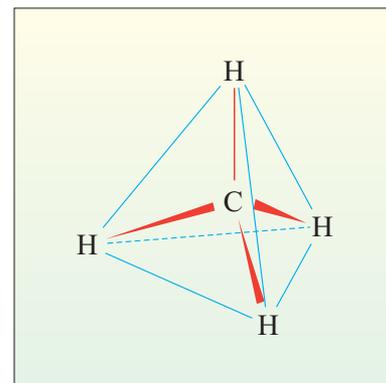
Excelente página sobre el carbón y el carbono. Se puede encontrar información que va desde los usos del carbón en la vida cotidiana hasta la estructura de las formas alotrópicas del carbono. Especialmente interesante el apartado dedicado a los fullerenos, nanotubos y nanofibras.

Compuesto	Se encuentra en	Longitud de la cadena
Hemoglobina	Sangre	alrededor de 5000 C
Almidones	Animales y plantas	entre 300 y 10 000 C
Celulosa	Plantas	alrededor de 20 000 C

Según el número de electrones que un átomo de carbono comparta con otro (bien sea de carbono o de otro elemento), al enlace lo llamaremos simple, doble o triple.

### El enlace simple

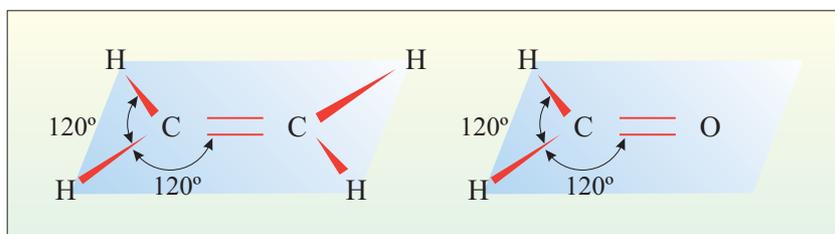
En ese caso el átomo de carbono participa en cuatro uniones o enlaces diferentes. Por lo tanto, en cada uno de esos enlaces comparte un electrón suyo y otro del otro átomo con el que se une. De esa forma alcanza la configuración estable dictada por la regla del octeto. Las cuatro uniones están dirigidas hacia los cuatro vértices de un tetraedro imaginario cuyo centro estuviese ocupado por el átomo de carbono.



Metano

### El enlace doble

El átomo de carbono puede unirse a otro compartiendo dos electrones. En este caso la estructura del enlace es plana formando ángulos de  $120^\circ$  unos enlaces con otros.

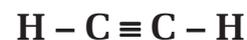


Eteno

Metanal

### El enlace triple

El átomo de carbono puede unirse a otro compartiendo tres electrones. En este caso los enlaces forman un ángulo de  $180^\circ$ , en línea.



Acetileno

## 2.1 Fórmulas de los compuestos del carbono

Las fórmulas de los compuestos del carbono se pueden escribir de varias formas que se diferencian en la información que de ellas se puede obtener.

**Fórmula molecular.** Nos indica el número total de átomos de cada elemento que participa en la molécula.

**Fórmula estructural desarrollada.** Nos informa no sólo de los átomos que componen la molécula sino además de cómo están unidos entre sí.

**Fórmula estructural semidesarrollada.** Igual a la anterior, pero sólo se indican algunos de los enlaces, generalmente los que existen entre los carbonos. Es la más utilizada porque es más simple que la estructural y proporciona prácticamente la misma información.



### 2.13

En el apartado de Química del carbono se describen los enlaces del carbono y las sustancias del carbono clasificadas por grupos funcionales. Incluye representaciones tridimensionales de las moléculas que se pueden girar.

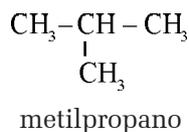
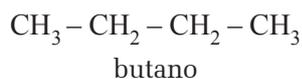
Sustancia	1-buteno	2-buteno	etanol
Fórmula molecular	$C_4H_8$	$C_4H_8$	$C_4H_6O$
Fórmula desarrollada	$  \begin{array}{c}  \text{H} & & \text{H} \\  & \diagdown & / \\  & \text{C} = \text{C} & \\  & / & \diagdown \\  \text{H} & & \text{H} \\  & &   \quad   \\  & & \text{C} - \text{C} - \text{H} \\  & &   \quad   \\  & & \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{H} - \text{C} - \text{H} \\  & \diagdown & / \\  & \text{C} = \text{C} & \\  & / & \diagdown \\  \text{H} & & \text{H} \\  & &   \quad   \\  & & \text{C} - \text{C} - \text{H} \\  & &   \quad   \\  & & \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{H} \\    \quad   \\  \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{O} - \text{H} \\    \quad   \\  \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $
Fórmula semidesarrollada	$CH_2 = CH - CH_2 - CH_3$	$CH_3 - CH = CH - CH_3$	$CH_3 - CH_2 - OH$

## 3 ISOMERÍA

En la química del carbono es frecuente que una misma fórmula molecular pueda representar a varias sustancias diferentes. Se debe a que aunque cada molécula contenga el mismo número de átomos de cada elemento, éstos se unen entre sí de manera diferente. Se llaman **isómeros** a sustancias diferentes, y por tanto, con propiedades características distintas, pero que tienen la misma fórmula molecular. Las sustancias isómeras tienen la misma fórmula molecular y diferente fórmula estructural.

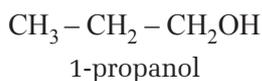
Según el tipo de diferencia que se observe, se habla de isomería de cadena, de posición o de función. También se habla de estereoisomería, aunque de ella no trataremos en este curso.

Se llaman **isómeros de cadena** a aquellas sustancias que teniendo la misma fórmula molecular son diferentes debido a que tienen distinta estructura de la cadena de carbonos. Podemos referirnos a dos hidrocarburos saturados, sustancias cuyas moléculas están formadas sólo por átomos de carbono e hidrógeno, cuya fórmula molecular es la misma,  $C_4H_{10}$ , pero que tienen distinta estructura, como son el butano y el metilpropano.



**A.3.-** Dibuja las moléculas de los hidrocarburos que posean cinco átomos de carbono unidos por enlaces simples y cuya fórmula molecular sea  $C_5H_{12}$ .

Se llaman **isómeros de posición** a las sustancias que teniendo la misma fórmula molecular tienen algún átomo o grupo de átomos, o algún doble o triple enlace en distintos lugares de la cadena. Por ejemplo, son isómeros de posición las sustancias:



**A.4.-** Los hidrocarburos cuyas moléculas contienen enlaces dobles o triples se llaman **hidrocarburos insaturados**. Dibuja todas las moléculas posibles de cadena lineal, con cinco átomos de carbono y un enlace doble.

# 4

## GRUPOS FUNCIONALES. ISOMERÍA DE FUNCIÓN

Decimos que existe isomería cuando dos sustancias distintas poseen la misma fórmula molecular. Hemos visto que esto puede ocurrir por diferencias en la forma de las cadenas de carbono (isomería de cadena) o por las distintas posiciones que pueden ocupar en la cadena estructuras como el enlace doble o el triple (isomería de posición). Existen otros tipos de isomería, entre ellas la isomería de función que analizaremos a continuación.

**A.5.-** a) La fórmula molecular del alcohol etílico o etanol es  $C_2H_6O$ . Determina las fórmulas estructurales posibles para la molécula anterior.

b) Determina cuál es la fórmula del etanol a partir de los siguientes hechos experimentales:

1) El sodio metálico reacciona enérgicamente con el etanol desprendiendo hidrógeno. En la reacción se forma un compuesto iónico, el etanolato de sodio, cuya fórmula es  $C_2H_5ONa$ .

2) El etanol es soluble en agua en cualquier proporción.

3) En las condiciones habituales se presenta en estado líquido.

Las propiedades físicas y químicas del etanol se explican por el comportamiento del grupo hidroxilo ( $-OH$ ) que existe en su estructura molecular. Si consideramos dos partes en la molécula, ( $CH_3-CH_2-$ ) y ( $-OH$ ), sólo la segunda es la responsable de la mayoría de las propiedades del etanol. A la parte de la cadena de carbonos se le llama **radical alquílico**, en este caso concreto radical etilo, y al grupo hidroxilo se le llama **grupo funcional**. Todas las sustancias cuyas moléculas poseen un grupo funcional determinado presentan propiedades físico-químicas parecidas. Las sustancias que presentan la fórmula general  $R-OH$  se llaman **alcoholes**, mientras que las que presentan la fórmula general  $R-O-R'$ , se llaman **éteres**.  $R$  y  $R'$  representan radicales hidrocarbonados.

La isomería entre el etanol y el dimetiléter se denomina **isomería de función** ya que la diferencia entre sus fórmulas estructurales radica en el distinto grupo funcional que poseen.

**A.6.-** Escribe las fórmulas semidesarrolladas que corresponden a la fórmula molecular  $C_4H_{10}O$ . Pon ejemplos, utilizando estas fórmulas, de todos los casos de isomería que hemos estudiado.

### FUNCIÓN Y GRUPO FUNCIONAL

Un conjunto de sustancias con propiedades físicas y químicas parecidas, ligadas a la presencia de una agrupación particular de átomos en sus moléculas, recibe el nombre de **función**, y el grupo atómico correspondiente recibe el nombre de **grupo funcional**.

### 4.1 Ideas básicas de nomenclatura en química orgánica

• Las cadenas de carbonos se nombran con un prefijo que indica el número de átomos de carbono que la forman. La tabla adjunta recoge los prefijos utilizados para las cadenas con menor número de átomos de carbono.

• A este prefijo se le agrega una terminación que indica el grupo funcional que posee la molécula, o sea, el tipo de sustancia. Por ejemplo, para los hidrocarburos que sólo posean enlaces simples, los hidrocarburos saturados, se utiliza la terminación **ano**. Si tienen enlaces dobles o triples, hidrocarburos insaturados, se usan las terminaciones **eno** o **ino**, respectivamente. Con los alcoholes, la terminación **ol**. Los radicales alquílicos utilizan la terminación **il** o **ilo**.

Prefijo	Nº de carbonos
met	1
et	2
prop	3
but	4
pent	5
hex	6
hept	7
oct	8
non	9
...	...



## 2.14

Fórmula	Tipo de sustancia	Nombre
CH <sub>4</sub>	hidrocarburo saturado	metano
CH <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>	« «	etano
CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	« «	butano
CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	hidrocarburo insaturado	eteno
CH <sub>3</sub> -CH=CH <sub>2</sub>	« «	propeno
HC≡CH	« «	etino
CH <sub>3</sub> -OH	alcohol	metanol
CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -OH	«	etanol
CH <sub>3</sub> -	radical alquílico	metil o metilo
CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -	« «	etil o etilo

Hay una introducción a los conceptos fundamentales para la formulación en química del carbono. Después describe la formulación de los diferentes compuestos clasificados por grupos funcionales con una gran cantidad de ejemplos resueltos y ejercicios propuestos.

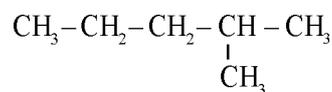
• Se utilizan números («localizadores») para indicar la posición de un grupo funcional en la cadena o, cuando está ramificada, para indicar en qué lugar van unidos los radicales alquílicos. Podemos ver algunos ejemplos:



1-buteno



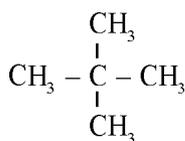
2-buteno



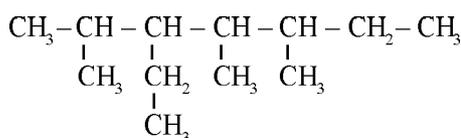
2-metilpentano

• Los números se separan entre sí con comas y de la parte literal con guiones. Preceden inmediatamente al grupo sustituyente o función del que indican la posición.

• Se utilizan los prefijos di, tri, etc., cuando varios radicales de alquilo u otros sustituyentes iguales van unidos a la cadena de carbonos:



dimetilpropano



3-etil-2,4,5-trimetilheptano

# 5

## HIDROCARBUROS

Son los compuestos del carbono cuyas moléculas están constituidas solamente por átomos de carbono e hidrógeno. Pueden ser de varios tipos según que presenten enlaces simples, dobles o triples o que la cadena sea abierta o cerrada.

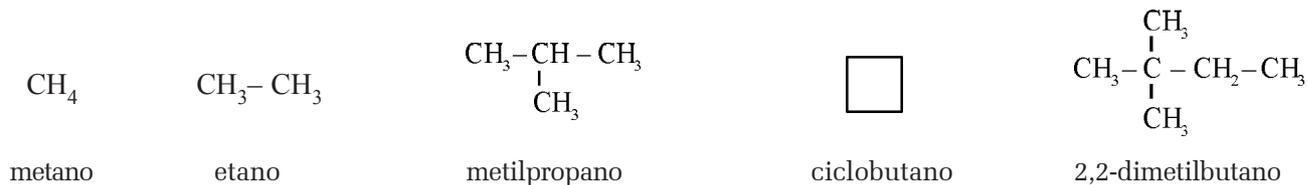
### 5.1 Hidrocarburos saturados, alcanos o parafinas

En estos compuestos sólo existen enlaces sencillos entre los átomos de carbono. Pueden formar cadenas abiertas, lineales o ramificadas, o cerradas. En este último caso se les llama cicloalcanos. Para nombrarlos se usa la terminación **ano**, y si es cíclico, se le coloca el prefijo **ciclo**. Se debe buscar la cadena lineal más larga posible y se numeran los átomos de carbono para indicar posibles ramificaciones. Se escoge el extremo de la cadena de forma que los números correspondientes a la ramificación sean los más bajos posibles.



## 2.15

Permite la construcción de las fórmulas semidesarrolladas de los hidrocarburos y otros compuestos. Incluye unas instrucciones detalladas que describen el uso de la simulación.



Para determinadas estructuras ramificadas se emplean también algunos prefijos como **iso** que indica una rama de un sólo carbono en un extremo de la cadena principal. Así el metilpropano se puede nombrar como isobutano. Cuando son dos radicales metilo en vez de uno se puede usar el prefijo **neo**. El 2,2-dimetilbutano lo podemos llamar también neohexano.

Cuando en un hidrocarburo aparecen varios radicales diferentes, formando cadenas ramificadas, los nombres de dichos radicales se suelen dar por orden alfabético.

**A.7.-** Escribe el nombre y fórmulas semidesarrolladas de cuatro de los hidrocarburos saturados con seis átomos de carbono. Señala los casos de isomería que puedas reconocer, especificando el tipo de isomería de que se trate.

### **Propiedades físicas**

**A.8.-** Teniendo en cuenta los enlaces que presentan los hidrocarburos saturados, predice y comprueba sus posibles propiedades físicas.

### **Propiedades químicas**

Los alcanos son bastante estables por lo que reaccionan con pocas sustancias. Su principal reacción es la de combustión, en la que al combinarse con el oxígeno da lugar a la formación de dióxido de carbono y agua. Esta reacción es muy exotérmica por lo que el uso principal de los alcanos es como combustibles: metano, butano, velas de parafina, gasolinas, etc.

### **Compuestos de interés**

- **El metano** ( $\text{CH}_4$ ): es el más sencillo y uno de los combustibles más valiosos. Recibe distintos nombres comunes según sea su procedencia:

a) **Gas grisú**, el que se desprende en las minas de carbón y es causante de explosiones que han acabado con la vida de muchos mineros.

b) **Gas de los pantanos**, pues se forma por descomposición de restos vegetales en ausencia del aire.

c) **Gas ciudad**, pues se utiliza para usos domésticos en algunas ciudades, donde es transportado por tuberías de forma análoga al agua.

- **El propano y el butano** ( $\text{C}_3\text{H}_8$  y  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ): usados como combustibles domésticos. Se sirve una mezcla de ambos gases en las bombonas de butano.

- **Las gasolinas**: mezclas de hidrocarburos de 7 a 9 átomos de carbono.

Otras mezclas de alcanos usadas como combustibles son: las parafinas (velas), el gasoil y el queroseno.

Sustancia	Punto de ebullición
metano	-164 °C
etano	-89 °C
propano	-42 °C
butano	-0,5 °C
hexano	36 °C
heptano	69 °C
octano	98 °C
nonano	126 °C

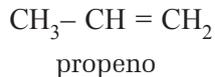
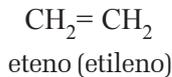
Alcano	Poder calorífico kJ/kg
metano	55 625
etano	51 000
propano	50 000
butano	49 463
octano	48 070



## 5.2 Hidrocarburos insaturados

### Olefinas, alquenos o serie del etileno

Son aquellos hidrocarburos que presentan enlaces dobles entre átomos de carbono. Se caracterizan sus nombres por llevar el sufijo **eno**.



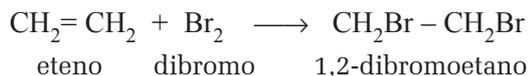
ciclobuteno

Sus propiedades físicas son similares a las de los alcanos.

#### Propiedades químicas

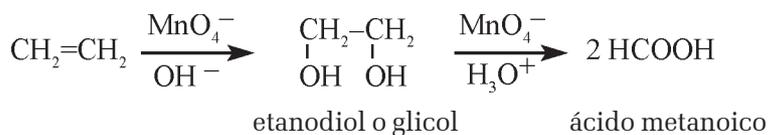
La reactividad de los alquenos es muy alta comparada con la de los alcanos. La causa de esta reactividad es la existencia del enlace doble ya que aunque este enlace es más fuerte que el simple, su rotura y formación de dos nuevos enlaces simples es una situación energética más favorable. Algunas reacciones químicas de los alquenos son:

• **Adición al doble enlace:** consiste en la rotura del doble enlace y la incorporación a los átomos de carbono que estaban unidos por él de otros átomos o grupos de átomos:



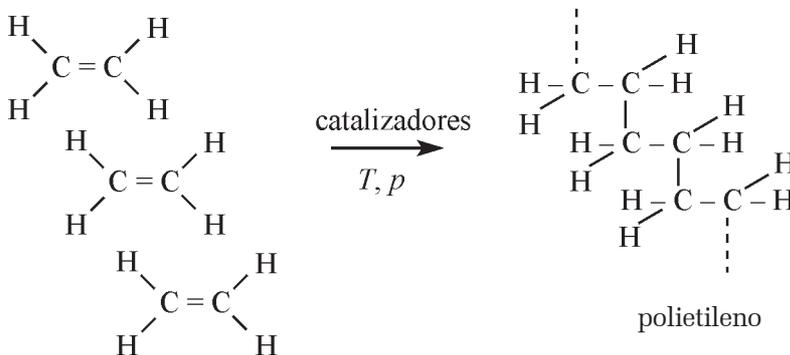
**A.9.-** Escribe las ecuaciones correspondientes a las reacciones: a) eteno más agua; b) 1-buteno más cloruro de hidrógeno.

• **Reacción de oxidación:** los alquenos pueden sufrir oxidaciones en varias etapas. Una oxidación suave supone la rotura del enlace doble con entrada de grupos hidroxilo (-OH). Si se continúa la oxidación se obtienen ácidos orgánicos. Por ejemplo, con permanganato de potasio, primero en medio neutro o alcalino y después en medio ácido:



La combustión supone el caso más extremo de oxidación y provoca la formación de dióxido de carbono y agua.

• **Polimerización:** Se adicionan varias moléculas del alqueno, formando largas cadenas moleculares a las que se denominan **polímeros**. Son las moléculas que forman los plásticos.



2.16

Esta simulación representa el proceso catalítico de hidrogenación del etileno.



Envases de polietileno

Algunos plásticos de interés se forman a partir de la polimerización de otros alquenos o de sus derivados:

Plástico	a partir de la polimerización del	Usos corrientes
polietileno	eteno o etileno ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )	Juguetes y utensilios de moldes, bolsas y películas
polipropileno	propeno ( $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$ )	Recipientes moldeados, partes interiores de automóviles
PVC	cloruro de vinilo ( $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ )	Tuberías, baldosas, discos, mangueras y parachoques
poliestireno	estireno ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$ )	Corcho blanco, aparatos de iluminación
Teflón	tetrafluoroetileno ( $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ )	Recubrimiento de sartenes, aislantes eléctricos

### Compuestos de interés

- **El eteno o etileno** ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )

Es un gas incoloro de olor agradable. Se emplea como anestésico mezclado con oxígeno, para acelerar o acabar la maduración de frutos y vegetales, para preparar plásticos por polimerización y como materia prima para la obtención de muchos productos de interés.

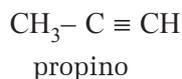
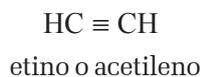
- **El metil-1,3-butadieno o isopreno** ( $\text{CH}_2=\overset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{C}}}-\text{CH}=\text{CH}_2$ )

Forma polímeros de interés industrial (caucho sintético). El caucho natural, usado para las cubiertas de las ruedas de los automóviles, es un polímero del isopreno.



### Alquinos o serie del acetileno

Son hidrocarburos con algún triple enlace entre los átomos de carbono. Se nombran con la terminación **ino**.



Sus propiedades físicas y químicas son muy parecidas a las de los alquenos, produciendo el mismo tipo de reacciones.

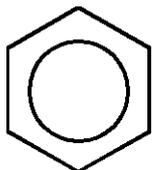
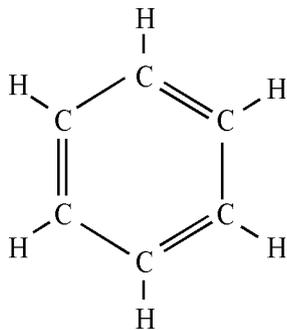
### Compuestos de interés

- **El acetileno o etino** ( $\text{CH} \equiv \text{CH}$ ): es el más importante. Es un gas incoloro y tóxico. Arde con llama muy viva por lo que ha sido utilizado en iluminación (lámparas de carburo). Se emplea en soldadura mezclado con oxígeno (soplete oxiacetilénico, se alcanzan temperaturas de más de  $3000\text{ }^\circ\text{C}$ ) y como materia prima para la síntesis de numerosas sustancias como, por ejemplo, las fibras acrílicas (mediante procesos de polimerización).



## 5.3 Hidrocarburos aromáticos

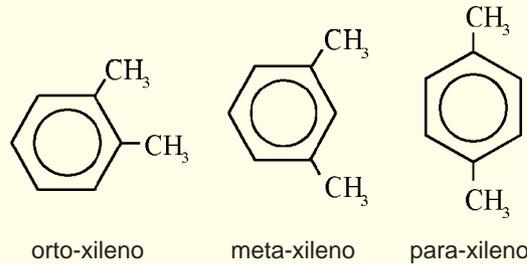
El nombre de compuesto aromático se refiere a una serie de sustancias extraídas de vegetales que presentaban un olor peculiar. Al estudiarlas se descubrió que se podían considerar como derivadas del benceno, un hidrocarburo cíclico que presenta enlaces dobles **conjugados**, lo que quiere decir, que alternan en la cadena enlaces simples y dobles. El benceno forma un anillo hexagonal:



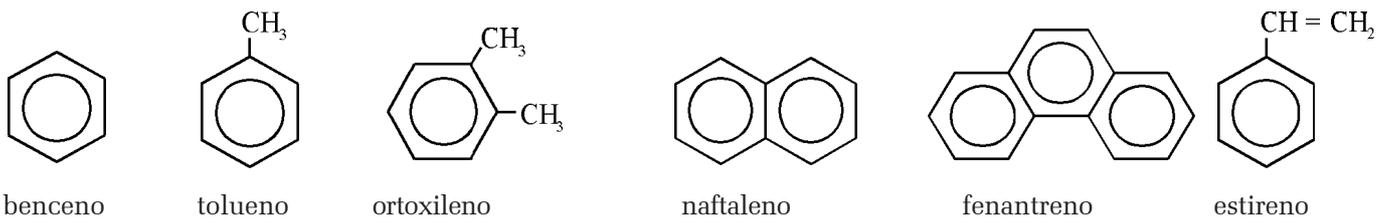
representación esquemática

### Isómeros de posición en anillos de benceno

Cuando en un anillo de benceno existen dos sustituyentes, se pueden formar tres isómeros según las posiciones que ocupan. Es corriente nombrarlos con los prefijos **orto**, **meta** y **para**, en lugar de hacerlo con números.



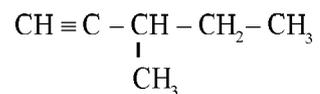
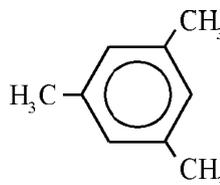
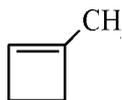
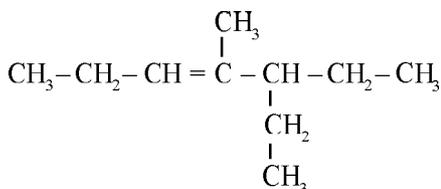
Actualmente, a toda sustancia cuya molécula presente unidades estructurales de anillos como el benceno, se le llama aromática, independientemente de su olor. Por tanto, los hidrocarburos aromáticos son el benceno y sus derivados.



**A.10.-** a) Escribe las fórmulas semidesarrolladas de las siguientes sustancias:

- 4,5-dimetil-2-hepteno
- 3-metil-1-butino
- Ciclohexano
- Etilbenceno

b) Nombra los siguientes compuestos:

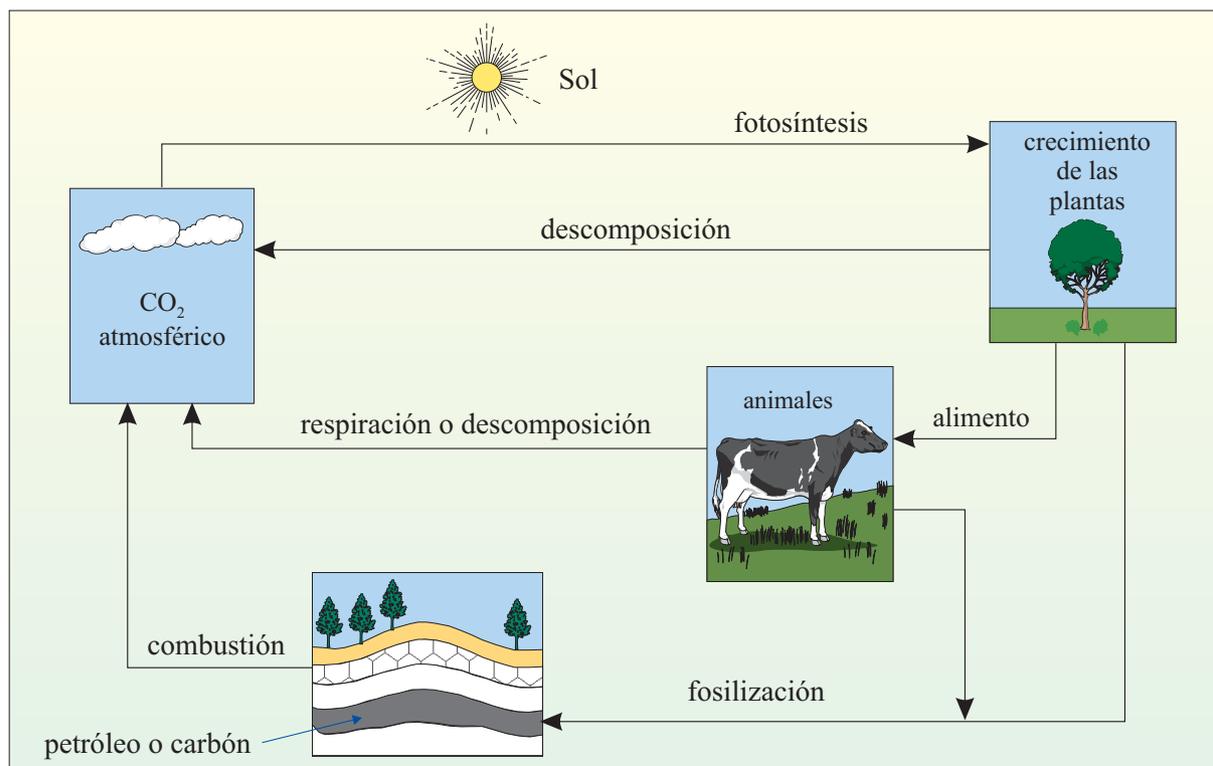


## 5.4 Fuentes naturales de hidrocarburos

Son fundamentalmente el carbón y el petróleo; ambos provienen de la descomposición anaerobia de restos vegetales o animales sometidos a gran presión durante siglos. En el siguiente diagrama puede observarse el ciclo que sigue el elemento carbono a través de diversos procesos físico-químicos:

## El carbón

Proviene de restos vegetales que han quedado enterrados bajo agua y sedimentos. En estas circunstancias, los restos sufren una descomposición formándose el carbón denominado **turba**, que tiene un 60 % de carbono aproximadamente. Si continúa el proceso al abrigo del aire, se produce un proceso de fosilización en el que el contenido en carbono va aumentando y según sea este porcentaje recibe el nombre de **lignito** que tiene un 70 % de carbono, de **hulla bituminosa** que tiene un 78 % de carbono, de **hulla semibituminosa** que tiene un 83 % de carbono o de **antracita** que tiene un 90 % de carbono.



La destilación seca del carbón de hulla permite la obtención de distintas mezclas de hidrocarburos, fundamentalmente aromáticos, y otras sustancias de interés. Se realiza en cámaras cerradas a una temperatura de algo más de 100 °C. Se obtienen las siguientes fracciones:

Fracción	Componentes principales	Aplicaciones
Gas de cokerías	Hidrógeno, metano, monóxido de carbono	Combustibles
Amoniaco	Amoniaco	Limpieza, abonos
Aceites ligeros	Benceno, tolueno, xilenos	Colorantes, perfumes y medicamentos
Alquitrán de hulla	Aceites ligeros	Conservación de la madera
	Aceites medios: Fenol, cresoles, naftaleno	
	Aceites pesados: Cresoles, aceite de creosota	
	Aceites de antraceno	
Carbón de cok	Pez	Pavimentación, impermeabilización
		Altos hornos

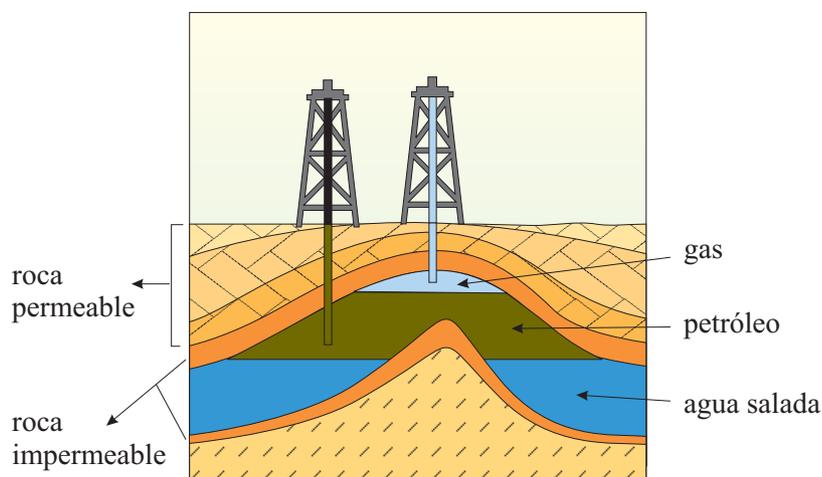
Como se puede observar en la tabla anterior, el uso del carbón como combustible (centrales térmicas) produce la pérdida de una gran cantidad de sustancias de alto valor, además de tener un efecto contaminante sobre el medio ambiente (lluvia ácida, efecto invernadero).



Página del Instituto Mexicano del Petróleo con gran cantidad de información sobre el petróleo.

## El petróleo

Se cree que es el producto de una descomposición de la materia orgánica, probablemente de origen animal. Es una mezcla compleja de hidrocarburos cuya composición depende de su origen; la mayor parte son hidrocarburos saturados. Las bolsas de petróleo se encuentran mezcladas con arena bajo pliegues de rocas. Éstas se perforan (se llegan a alcanzar profundidades mayores de 5000 m) hasta alcanzar la capa en la que se encuentra el petróleo. Obtenido en bruto, es un líquido oleaginoso de color oscuro. El petróleo sufre una destilación fraccionada para separar distintas fracciones según su uso. La industria petroquímica posee refinерías que se encargan de estas separaciones. El siguiente diagrama indica las fracciones que se obtienen al destilarlo:



Fracción	Nº de carbonos	Destila entre	Usos principales
Gases	C <sub>1</sub> - C <sub>4</sub>	< 35 °C	Combustibles
Éter de petróleo	C <sub>5</sub> - C <sub>7</sub>	35 °C - 90 °C	Disolventes
Gasolina	C <sub>7</sub> - C <sub>12</sub>	70 °C - 200 °C	Combustible para motores
Keroseno	C <sub>11</sub> - C <sub>15</sub>	175 °C - 275 °C	Combustible para aviación
Gasoil	C <sub>15</sub> - C <sub>19</sub>	200 °C - 400 °C	Combustible, materia prima para gasolina
Aceites lubricantes	C <sub>20</sub> en adelante	superior a 350 °C	Lubricación
Parafina		sólido	Velas, impermeabilización
Alquitrán de petróleo		sólido	Impermeabilización, asfaltado

Las demandas de los productos del petróleo han ido variando durante las últimas décadas. El queroseno se usaba en iluminación y era la fracción más apreciada. Con el uso generalizado de los automóviles, fue la gasolina la más demandada. Ahora crece otra vez la demanda de queroseno por su uso como combustible de aviación.

La necesidad de incrementar la gasolina obtenida por destilación del petróleo ha desarrollado técnicas químicas para obtenerla a partir de otras fracciones del petróleo. Una de ellas es el **craqueo** que consiste en romper las moléculas de fracciones con mayor número de carbonos, normalmente de las fracciones del gasoil. Para ello, se calienta el gasoil a alta presión en ausencia de oxígeno (craqueo térmico) o con temperaturas inferiores y la presencia de catalizadores como la alúmina o la cromita (craqueo catalítico). Así se logra producir la rotura de las moléculas pesadas.

Las gasolinas se caracterizan comercialmente por su **índice de octanos**. Para que un motor funcione correctamente es necesario que la mezcla de gasolina y aire que entra en los cilindros y es comprimida por los pistones, no arda hasta que salte la chispa en las bujías, sin que se produzcan detonaciones ni explosiones antes de llegar al momen-



to adecuado («picar las válvulas» en el argot automovilístico), pues esas detonaciones

ponen un deterioro del motor y una pérdida de potencia. Uno de los componentes de las gasolinas es el 2,2,4-trimetilpentano (también llamado isooctano) que detona sólo a compresiones muy elevadas; a esta sustancia se le adjudicó convencionalmente el índice de 100 octanos. Por el contrario el heptano lineal detona fácilmente y se le asignó el índice de 0 octanos. El **índice de octanos** de una gasolina se define como el porcentaje de isooctano de una mezcla de éste con heptano, de forma que tenga las mismas características detonantes que la gasolina ensayada. Sirve por tanto para medir las características detonantes de una gasolina. Las pruebas realizadas con un gran número de hidrocarburos muestran que los ramificados tienen un índice de octanos superiores a los lineales y los cicloalcanos y los aromáticos tienen índices superiores a todos los anteriores.

Tradicionalmente se empleó el tetraetilplomo o el tetrametilplomo para mejorar las cualidades detonantes de la gasolina, pero las directivas comunitarias prohibieron su uso desde el año 2002, debido al alto poder contaminante del plomo. Las gasolinas actuales («gasolina sin plomo»), utilizan éteres como antidetonantes, resultando menos perjudiciales para el medio ambiente.

Además de su uso como combustible en motores, calefacción o centrales térmicas, las sustancias obtenidas en las refinerías de petróleo constituyen la mayor fuente de productos como el benceno, el tolueno y otros hidrocarburos aromáticos, que se utilizan como materia prima para la obtención de colorantes, explosivos, insecticidas, medicamentos, disolventes, plásticos, detergentes, fibras textiles, etc.

## Problemas ambientales en el uso de los combustibles fósiles

Del carbón y el petróleo se extraen numerosas sustancias, de las que posteriormente, se obtienen otras muchas con aplicaciones en diversos campos; pero su uso fundamental, junto con el gas natural, es como combustibles.

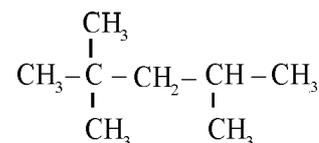
**A.11.-** La industria petroquímica, que trabaja con el petróleo y sus derivados, es una de las más importantes del mundo por el gran número de productos que fabrica. Enumera algunos de los problemas que presenta esta industria y sus derivados en relación con la conservación del medio.

Los principales problemas que presenta el uso de los combustibles sólidos son:

### \* El aumento del efecto invernadero

El dióxido de carbono y otros gases atmosféricos (GEI) producen un efecto invernadero: permiten pasar las radiaciones solares hacia la superficie terrestre pero debilitan el paso de la radiación reflejada en la Tierra hacia el exterior. El efecto es el calentamiento del planeta y evitar grandes oscilaciones de temperatura, lo que favorece la existencia de la vida, tal como la conocemos.

Al quemar combustibles orgánicos, uno de los productos de la reacción es el dióxido de carbono que va a la atmósfera, aumentando, por tanto, su concentración en ella. Desde la Revolución Industrial hasta nuestros días, este aumento ha sido imparable, pasando de 280 ppm (partes por millón) a superar las 380 ppm en 2006. Este aumento supone, a la vez, el aumento del efecto invernadero. Otros gases como los óxidos de nitrógeno que se forman en las combustiones a alta temperatura, como en los motores



Isooctano

### RESERVAS DE PETRÓLEO

Por reservas se entiende el tiempo que podemos seguir utilizando el petróleo al ritmo de consumo actual. Es muy difícil estimar para cuántos años tenemos petróleo. No sabemos cuántos depósitos nuevos se van a descubrir. Tampoco cual va a ser el ritmo de consumo. En 1970 había reservas conocidas de petróleo para 30 años (es decir, hasta el año 2000). En cambio, en 1990 había reservas para 40 años, es decir, en estos años se ha descubierto más que se ha consumido. Lo más prudente es decir que hay reservas para un tiempo comprendido entre varias decenas y 100 años.



Vista parcial de industria petroquímica.

de los coches o en las centrales térmicas, también contribuyen al aumento del efecto invernadero.

El resultado, según la mayor parte de la comunidad científica, es el conocido como **calentamiento global** del planeta, y a causa de él, el llamado **cambio climático**, al que hoy día se le atribuyen muchos desastres meteorológicos que acontecen, con mayor o menor fundamento, pero que predice verdaderas catástrofes en el futuro.

**A.12.-** Busca en Internet datos sobre el calentamiento global y el cambio climático: pruebas de su existencia, problemas que pueden causar a corto y largo plazo y medidas que se intentan llevar a cabo para paliarlos.

#### \* **El agotamiento de recursos**

Las reservas de carbón, gas natural y petróleo son limitadas, sobre todo, las de éste último. Parece probable que, como hoy ya ocurre, el precio del petróleo vaya aumentando progresivamente, y no se sabe hasta que nivel. La economía mundial está muy ligada a los cambios en el precio del crudo. Ya han existido dos crisis graves, en las décadas de los 70 y los 90 del siglo pasado, por el aumento inesperado del precio del petróleo. Cuando éste sube, se encarece el transporte, las materias primas que de él proceden y los productos elaborados con aquellas. Es difícil hacer pronósticos económicos, pero todo apunta a que lo más grave está por venir.

A su vez, como el petróleo no está homogéneamente repartido, se generan graves desajustes en el reparto de esta riqueza y graves conflictos por conseguir el dominio de los territorios con petróleo: guerras y corrupción en África, guerra de Irak, etc.

#### \* **La contaminación**

Ya hemos comentado, en la unidad anterior, el problema de la lluvia ácida. Y no sólo se produce contaminación por la combustión, sino por la elaboración de sustancias a partir de los componentes del petróleo, como el caso del DDT, un pesticida muy contaminante y no biodegradable que al entrar en la cadena trófica puede llegar a animales y personas produciendo distintas disfunciones e incluso es considerado como una sustancia cancerígena.

A pesar de todos estos problemas, no podemos olvidar que el desarrollo de la Química del Carbono ha dado lugar a la producción de innumerables sustancias que han mejorado nuestra calidad de vida: medicamentos, pinturas, plásticos, insecticidas, detergentes y un largo etcétera. Tampoco debemos olvidar que la propia Química se ocupa de buscar soluciones a los problemas que plantea con la búsqueda de sustancias menos contaminantes o que eliminen contaminaciones ya producidas.

## **6** **SERIES HOMÓLOGAS. ALCOHOLES**

Ya hemos indicado que todas las sustancias cuyas moléculas poseen un determinado grupo funcional poseen unas características comunes, llamándose **serie homóloga** al conjunto de sustancias que tienen el mismo grupo funcional y cada molécula difiere de la anterior o de la siguiente en un átomo de carbono de menos o de más, respectivamente. Hemos tratado las series de los hidrocarburos y seguidamente veremos algunas características de las series homólogas de los alcoholes, su nomenclatura y algunos compuestos de interés.

## Alcoholes

Grupo funcional	hidroxilo	- OH
Fórmula general	R	- OH
Terminación	ol	
Alcoholes más sencillos	metanol	$\text{CH}_3\text{-OH}$
	etanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$
	1-propanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$
	1,2-etanodiol	$\text{CH}_2\text{OH-CH}_2\text{OH}$

Los alcoholes son líquidos de olor agradable y solubles en agua los más sencillos; a partir de 11 átomos de carbono son sólidos, insolubles en agua y sin olor.



Metanol

**A.13.-** Explica las diferencias de la solubilidad y los puntos de ebullición entre alcoholes e hidrocarburos, teniendo en cuenta los enlaces que presentan y el grupo funcional que los caracteriza.

### Compuestos de interés

- **Metanol, alcohol metílico o alcohol de madera** ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). Se puede obtener destilando madera en seco. Es muy parecido al etanol, pero muy tóxico, provocando ceguera e incluso la muerte por ingestión o aplicación externa. Se utiliza como disolvente, en la fabricación de barnices y pinturas, como materia prima para la obtención de colorantes, y otras sustancias, y como combustible en coches de carreras.

- **Etanol**, ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ ), **alcohol etílico**, **alcohol** simplemente o **alcohol de vino**. Se obtiene en la fermentación de los azúcares. La fermentación es una reacción anaerobia catalizada por enzimas (los catalizadores que actúan en las reacciones bioquímicas). En esta reacción, la glucosa y fructosa, contenida en el zumo de la uva o de otras frutas, se transforma en etanol y dióxido de carbono:



La fermentación se detiene por sí misma al alcanzar el vino una graduación de 16 a 18°. Otros vegetales como la patata, el maíz o la caña de azúcar, también pueden producir etanol por fermentación. A partir del almidón o de la sacarosa, mediante hidrólisis, se forma la glucosa o fructosa que después produce el etanol según la reacción anterior.

Es un líquido incoloro de olor agradable, miscible con agua en cualquier proporción. Se emplea como desinfectante, en bebidas alcohólicas, en la preparación de productos químicos y farmacéuticos, en perfumería, mezclado con gasolina como combustible para coches, etc.

#### Grado de un alcohol

El grado de un alcohol hace referencia a la proporción de alcohol y agua en % en volumen. Así, un alcohol de 90° quiere decir que de cada 100 cm<sup>3</sup>, 90 son de alcohol y 10 de agua.

Cuando se obtiene el alcohol después de la fermentación de azúcares sencillos, se destila en columna de fraccionamiento separándose alcohol de 96°. Mediante destilación no es posible separar más el alcohol y el agua, debido a que la mezcla alcohol-agua al 96% es lo que se llama una mezcla azeotrópica, que destila antes que cualquiera de los dos componentes.

El alcohol absoluto, es decir, alcohol puro, se obtiene destilando alcohol de 96° en presencia de cal viva, CaO, o de sulfato de cobre anhidro, o de formiato de etilo, sustancias que se combinan con el 4% de agua que lleva el alcohol.

### Intoxicación alcohólica

En la sangre tenemos siempre un porcentaje de alcohol que oscila entre 0,03 y 0,04 gramos de alcohol en cada litro. Esta cifra aumenta después de tomar bebidas alcohólicas. Hasta 0,5 g/L su presencia no produce perturbaciones graves en el comportamiento del individuo; el comienzo de la intoxicación alcohólica se sitúa alrededor de 1,5 g/L, aunque la intensidad de sus efectos depende del hábito. Para los conductores de vehículos, se considera un grado de alcoholemia positivo a partir de los 0,5 g/L en sangre, o de 0,25 mg/L de aire espirado. Para conductores cuyo permiso de conducir

tenga una antigüedad inferior a los dos años, la tasa del alcohol en sangre a partir de la que se considera que no se debe conducir se reduce a 0,3 g/L.

- **1,2-etanodiol, glicol o etilenglicol** ( $\text{CH}_2\text{OH} - \text{CH}_2\text{OH}$ ). Se emplea como disolvente y como anticongelante.

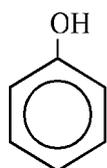
- **1,2,3-propanotriol o glicerina** ( $\text{CH}_2\text{OH} - \text{CHOH} - \text{CH}_2\text{OH}$ ). Su combinación con los ácidos constituye las grasas y aceites. Éstos reaccionan con el hidróxido de sodio (proceso llamado saponificación) produciendo jabones y glicerina. Es una sustancia líquida viscosa, incolora, de sabor dulce y miscible con agua. Se emplea en medicina, para preparar productos cosméticos, como conservador del tabaco y para fabricar algunos plásticos.

- **El fenol** ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ). Es un sólido blanco de olor fuerte, muy utilizado para la fabricación de resinas, explosivos, medicamentos y fungicidas.

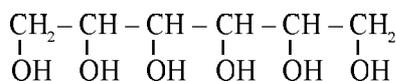


Jabones obtenidos con aceite de oliva reciclado.

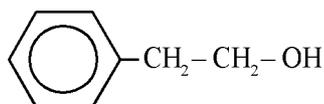
Otros alcoholes importantes son el **sorbitol** que se utiliza para endulzar comestibles «bajos en calorías»; el alcohol **feniletílico**, componente principal de la esencia de rosas, la **hidroquinona** o el **pirogalol** que se emplean como reveladores en fotografía.



fenol



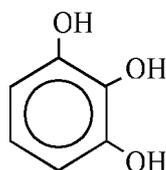
sorbitol



alcohol feniletílico



hidroquinona



pirogalol

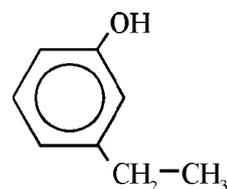
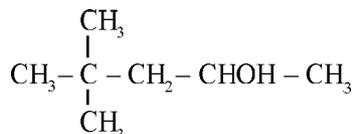
**A.14.-** a) Escribe la fórmula de las siguientes sustancias:

1,2-difenol

2-metil-1-butanol

2,3-dimetil-2,3-butanodiol

b) Nombra las siguientes sustancias:



**A.15.-** Construye una tabla en la que debes recoger las siguientes informaciones sobre las funciones orgánicas que se han estudiado (alcanos, alquenos, alquinos, hidrocarburos saturados y alcoholes):

- Se encuentran formando parte de...
- Propiedades destacables.
- Usos y aplicaciones.
- Grupo funcional y fórmula general.
- Ejemplos.

## 7.1 Aldehídos y cetonas

Su grupo funcional es el grupo carbonilo,  $\text{>C=O}$ . En los **aldehídos** el grupo carbonilo está unido a un radical hidrocarbonado y a un hidrógeno, o a dos hidrógenos en el metanal. En las **cetonas** se encuentra unido a dos radicales hidrocarbonados.

## Aldehídos

Grupo funcional	carbonilo	$\text{>C=O}$
Fórmula general	R- CHO	
Terminación	al	
Aldehídos más sencillos	metanal:	$\text{H}-\text{C}\begin{matrix} \text{=O} \\ \text{H} \end{matrix}$
	etanal:	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{=O} \\ \text{H} \end{matrix}$

## Cetonas

Grupo funcional	carbonilo	$\text{>C=O}$
Fórmula general	R - CO - R'	
Terminación	ona	
Cetonas más sencillas	propanona:	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$
	butanona:	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Los aldehídos y cetonas sencillos son líquidos; desde los de diez átomos de carbono son sólidos, y solamente el metanal o formaldehído es gaseoso en las condiciones habituales. Son solubles en agua, pero su solubilidad va disminuyendo al crecer la cadena de carbonos.

**A.16.-** Explica estas propiedades físicas en base a la estructura molecular de estas sustancias.

## Compuestos de interés

• **Metanal o formaldehído** (HCHO). Es un gas de olor picante. Su disolución en agua se conoce como **formol** y es utilizada como desinfectante y como conservante. También se emplea para producir resinas sintéticas.

• **Etanal o acetaldehído** (CH<sub>3</sub>-CHO). Producto intermedio muy valioso para la obtención de productos como el ácido acético o el butadieno.

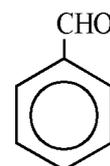
• **Benzaldehído**: líquido incoloro de olor a almendras amargas. Se emplea en la fabricación de colorantes y en perfumería.

• **Propanona o acetona** (CH<sub>3</sub>-CO-CH<sub>3</sub>). Es un líquido de olor agradable, muy volátil y miscible con agua en cualquier proporción, y también con otras sustancias apolares como la gasolina. Se emplea como disolvente y como materia prima para la obtención de otros productos.

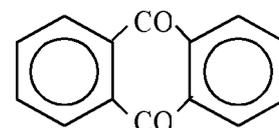
Otras cetonas importantes son la **butanodiona**, responsable del olor de la mantequilla, o la **antraquinona**, cuyos derivados forman un grupo importante de colorantes.



La acetona se utiliza como quitaesmalte.



benzaldehído

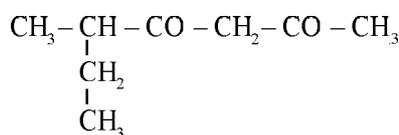
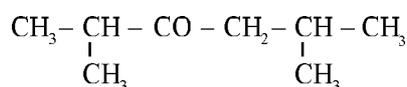
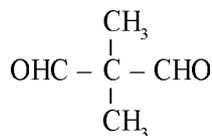
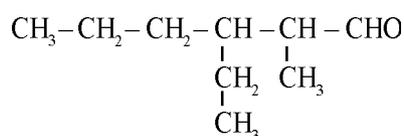


antraquinona



A.17.- a) Escribe la fórmula de las siguientes sustancias: butanal, propanodial, 3-hexanona y 2,4-dimetil-3-pentanona.

b) Escribe el nombre de las siguientes sustancias:



Base de datos de representaciones tridimensionales de moléculas.

## 7.2 Ácidos orgánicos

Su grupo funcional es el grupo carboxilo,  $-\text{COOH}$ , que siempre está al final de una cadena (unido a lo que se denomina un carbono primario).

Grupo funcional	carboxilo	$-\text{COOH}$
Fórmula general	R	$-\text{COOH}$
Terminación	oico	
Ácidos más sencillos	metanoico	$\text{HCOOH}$
	etanoico	$\text{CH}_3-\text{COOH}$
	propanodioico	$\text{COOH}-\text{CH}_2-\text{COOH}$

Los ácidos orgánicos hasta los de 8 átomos de carbono son líquidos de olor fuerte, los siguientes son sólidos de aspecto grasiento en las condiciones habituales. Los primeros son muy solubles en agua, disminuyendo su solubilidad al crecer la cadena de carbonos. La gran polaridad que presenta el grupo carboxilo explica estas propiedades, así como su comportamiento como ácidos al poder romperse fácilmente el enlace del hidrógeno con el oxígeno.

A.18.- Escribe la ecuación que representa la reacción química del ácido acético (etanoico) con el agua. Escribe la ecuación que representa la reacción ácido-base entre el ácido acético y el hidróxido de sodio.

La sal obtenida en la reacción anterior es el acetato de sodio (etanoato de sodio). Son de bastante interés las sales sódicas de los llamados ácidos grasos (ácidos con un número de carbonos elevado) que se denominan **jabones**,  $\text{R}-\text{COONa}$ . Su poder detergente se basa en la atracción de la cadena de carbonos (zona apolar) por sustancias apolares como las grasas, al mismo tiempo que la zona polar es atraída por el agua.

### Compuestos de interés

• **Ácido metanoico o ácido fórmico** ( $\text{HCOOH}$ ). Se encuentra en insectos (hormigas, abejas...) y en plantas (ortigas) y es el responsable de las molestias que producen las picaduras de estos organismos. Es un líquido de olor desagradable. Se emplea en la industria textil.

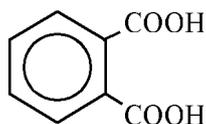
• **Ácido etanoico o ácido acético** ( $\text{CH}_3-\text{COOH}$ ). El vinagre lo contiene en proporción del 3 al 6%. Se emplea para obtener acetatos, drogas y colorantes.

### Preparación de jabón

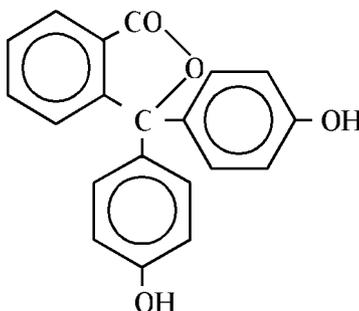
Para obtener jabón toma 75 ml de aceite de oliva y ponlos en un recipiente junto con 75 ml de disolución concentrada de sosa cáustica,  $\text{NaOH}$  (240 g/l aproximadamente). Calienta y agita en círculo frecuentemente durante media hora. Añade sal común, más o menos el doble de la sosa cáustica que hayas empleado, revuelve la mezcla y déjala enfriar. El jabón estará formado.



Otros ácidos importantes son el **butírico** (butanoico) que se encuentra en la mantequilla rancia; los ácidos presentes en las grasas: **palmítico** (aceite de palma), **esteárico** o el **oleico** (aceite de oliva); el ácido **acrílico** (propenoico) con el que se obtienen plásticos como el *plexiglás*; el ácido **oxálico** (etanodioico) cuyas sales se encuentran en algunas plantas (ruibarbo, acederas) y se emplea en análisis químico; el ácido **benzoico** ( $C_6H_5-COOH$ ) empleado como antiséptico, para conservar alimentos; el ácido **ftálico** que junto con el fenol permite la obtención de la fenolftaleína, un conocido indicador ácido-base.



ácido ftálico

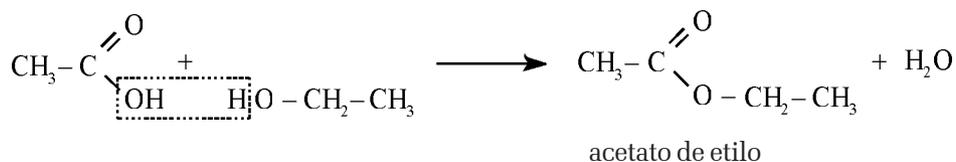


fenolftaleína

**A.19.-** Escribe las fórmulas semidesarrolladas para los ácidos: butírico, acrílico, oxálico y benzoico.

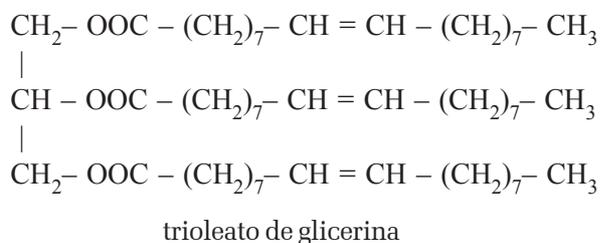
Los alcoholes con los ácidos producen una reacción ácido-base conocida como **reacción de esterificación**, dando lugar a la formación de agua y otro grupo de compuestos: los **ésteres**, cuya fórmula general es  $R-COO-R'$ .

Por ejemplo, la reacción del ácido acético y el etanol da lugar al acetato de etilo, disolvente muy apreciado (el que lleva el pegamento *Imedio*):



Los ésteres son compuestos insolubles en agua y se encuentran en los vegetales, siendo responsables, en general, del olor de las frutas y las flores. Por ello, se emplean en perfumería y para «dar sabor» a algunos alimentos (yogures...), también para producir plásticos y fibras como el poliéster.

Algunos de los ésteres más importantes son los formados por los ácidos grasos y la glicerina, llamados en general **lípidos**. Constituyen la mayor parte de los aceites y grasas usadas para cocinar. Por ejemplo, el aceite de oliva contiene el trioleato de glicerina (oleína).



#### Ésteres presentes en esencias

Albaricoque	Butanoato de etilo y amilo
Cognac y vino	Heptanoato de etilo
Frambuesa	Metanoato y acetato de isobutilo
Jazmín	Acetato de bencilo
Manzana	Butanoato y propanoato de etilo
Melocotón	Metanoato y butanoato de etilo
Naranja	Acetato de octilo
Piña	Acetatos de metilo, etilo y butilo
Ron	Metanoato de etilo
Rosas	Butanoato y nonilato de etilo
Uvas	Metanoato y heptanoato de etilo

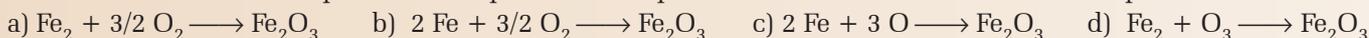
**A.20.-** Escribe el nombre, fórmula general y una sustancia que sirva como ejemplo de cada una de las funciones oxigenadas que hemos estudiado.

1. Tenemos un recipiente con 27 g de agua.

- Calcula la cantidad de sustancia de agua que hay.
- Calcula el número de moléculas de agua y el número de átomos de oxígeno y de hidrógeno.
- Calcula la masa, en la unidad del SI, de una molécula de agua.

2. Disolvemos 8 g de hidróxido de sodio en agua, añadiendo más agua hasta que completamos medio litro de disolución. a) Calcula la molaridad de esa disolución. b) Sabiendo que la densidad de la misma es de 1,05 g/mL, calcula la concentración en % en peso y en g/100 g de disolvente.

3. El dióxígeno reacciona con el hierro para dar óxido de hierro (III). ¿Cuál de las siguientes ecuaciones representa correctamente la reacción química correspondiente? Explica los errores cometidos en las otras opciones.



4. La composición centesimal de una sustancia es 82,65 % de carbono y 17,35 % de hidrógeno. Su densidad en estado gaseoso en condiciones normales es 2,6 g/L. Determina su fórmula molecular.

5. Se queman 5,8 g de butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), combustión en la que se produce dióxido de carbono y vapor de agua, que se recogen por separado a 17 °C y 1 atm de presión.

- Escribe y ajusta la ecuación química.
- Calcula las masas y los volúmenes de dióxido de carbono y de agua formados.
- Calcula el número de moléculas de agua que se han formado.
- Representa mediante un dibujo con varias moléculas la combustión del butano.

6. Calentamos 12,5 g de carbonato de cobre (II) (sólido de color verde), y obtenemos 7 g de un sólido oscuro, que debe ser óxido de cobre (II), y se desprende dióxido de carbono.

- El carbonato de cobre (II) que hemos utilizado ¿era puro o impuro? Explícalo.
- ¿Qué volumen de monóxido de cobre se ha obtenido?
- Si el dióxido de carbono se ha recogido a 27 °C y 2 atm, ¿qué volumen ocupará?

7. Para que se produzca una reacción es condición imprescindible:

- Que haya contacto entre las partículas.
- Que la temperatura y la presión sean adecuadas.
- Que se aporte la energía de activación.
- Que se rompan los enlaces existentes.

8. Indica los factores de los que depende la velocidad de una reacción y justifícalos utilizando la teorías de colisiones y cinético-moleocular.

9. El poder calorífico de los alimentos (en realidad el calor de combustión del alimento por unidad de masa) puede ser determinado midiendo la variación de energía interna producida al quemarse una cantidad de muestra del alimento en una bomba calorimétrica. La combustión total de 1 g de grasa de pollo en una bomba calorimétrica, elevó la temperatura de los 5 kg de agua que contenía desde 18,1 hasta 20,2 °C. Calcula el calor de combustión de la grasa de pollo.



10. Escribe las ecuaciones que representan los procesos que ocurren al disolver las siguientes sustancias en agua: ácido sulfúrico, cloruro de magnesio, amoníaco y clorato de potasio. Haz una descripción teórica del proceso que ocurre.

11. Según Arrhenius qué es una sustancia ácida y qué es una sustancia básica.

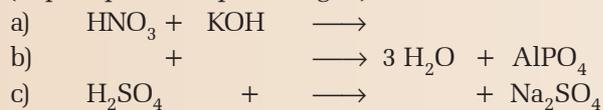
12. Ordena las disoluciones siguientes en orden creciente de acidez:

- $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,0001 \text{ M}$ ; b)  $\text{pH} = 9$ ; c)  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2} \text{ M}$ ; d)  $[\text{OH}^-] = 10^{-3} \text{ M}$

13. a) Calcula el pH de una disolución de ácido sulfúrico, preparada con 0,25 moles de ácido y el agua necesaria para alcanzar un volumen final de 500 mL de disolución.

b) Calcula el pH de una disolución de hidróxido de calcio preparada disolviendo 0,25 gramos de esa sustancia en agua hasta un volumen final de 500 mL.

14. Completa las siguientes reacciones ácido-base, indicando la sustancia que actúa como ácido y la que actúa como base (supón que se evapora el agua).



15. Se disolvieron 0,25 g de sosa cáustica comercial en agua, en un matraz aforado, hasta completar un volumen de 1000 mL. Para neutralizarla se precisaron 50 ml de disolución 0,1 M de ácido clorhídrico. Calcula la riqueza en hidróxido de sodio de la sosa cáustica comercial.

16. Formula o nombra las siguientes especies químicas:

ácido fluorhídrico	anión hidrogenosulfato	LiOH	$\text{Au}^{3+}$
nitrate de cinc	bicarbonato de sodio	$\text{AlBO}_3$	$\text{HIO}_4$
anión sulfito	cation hidronio	$\text{Sn}(\text{OH})_2$	$\text{CrPO}_4$
silicato de potasio	permanganato de sodio	HClO	$\text{SO}_4^{2-}$
hidróxido de estroncio	anión oxhidrilo	$\text{NaH}_2\text{PO}_4$	$\text{CuNO}_2$

17. De las siguientes reacciones redox, escribe las semirreacciones e indica cuál es el oxidante y cuál el reductor.

- a) Cobre + dióxígeno  $\longrightarrow$  óxido de cobre (II)  
 b) Cloruro de estaño (II) + cloruro de mercurio (II)  $\longrightarrow$  cloruro de estaño (IV) + cloruro de mercurio (I)  
 c) Azufre + hierro  $\longrightarrow$  sulfuro de hierro (II)

18. ¿Qué información proporcionan los distintos tipos de fórmulas que se usan para los compuestos del carbono?

19. Escribe las estructuras posibles a partir de la fórmula molecular  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ .

20. Describe cómo puedes obtener etanol a partir de eteno. ¿Cómo se llama la reacción química que has empleado?

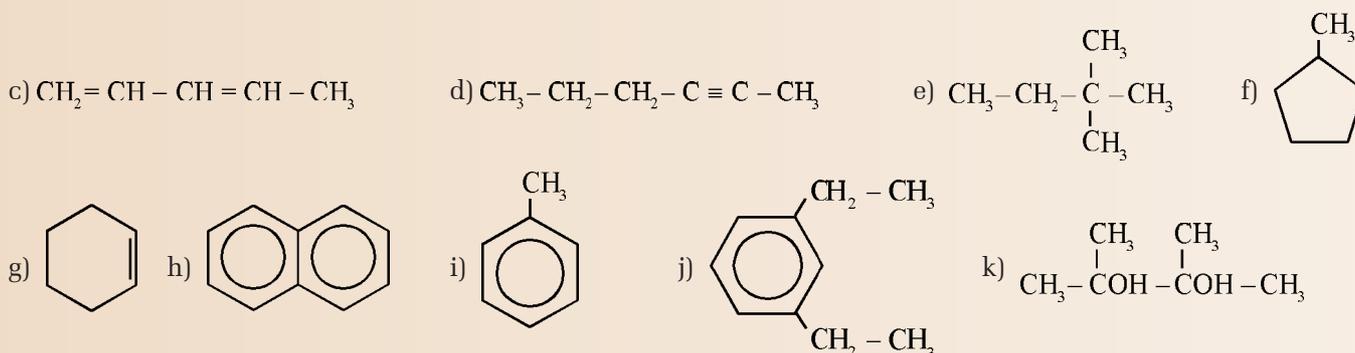
21. Explica el significado de los siguientes términos:

- |                  |                          |                   |             |
|------------------|--------------------------|-------------------|-------------|
| - hidrocarburo   | grado de un alcohol      | - craqueo         | - gas grisú |
| - polimerización | - hidrocarburo aromático | - grupo funcional | - antracita |

22. Formula las siguientes sustancias:

- a) heptano  
 b) 3-etil-2-metilhexano  
 c) 4-metil-1-penteno  
 d) 3-metil-1,4-pentadieno  
 e) 3-etil-1-pentino  
 f) 1,3,5-trimetilciclohexano  
 g) ciclopenteno  
 h) 1-etil-3-metilbenceno  
 i) 3,3-dimetil-1,4-pentanodiol

23. Escribe el nombre de las siguientes sustancias: a)  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$  b)  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$



## ACTIVIDADES DE RECUPERACIÓN

**A.1.-** a) Calcula la masa de una molécula de agua. ¿Cuántos átomos hay en una molécula de agua?, ¿y en un mol?  
b) ¿Cuál es la masa molar del agua? ¿Qué cantidad de sustancia hay en 90 g agua?

**A.2.-** ¿Dónde hay más moléculas, en 1 miligramo de agua, en 0,25 mol de moléculas de metano o en 1,12 L de dióxígeno en condiciones normales?

**A.3.-** Comenta la siguiente frase: «El número de moléculas que hay en un mol de un gas depende de las condiciones de presión y temperatura en las que se encuentra». Indica si es correcta o errónea y, en este último caso, señala el error.

**A.4.-** a) Si tenemos 3,4 mol de un gas medido en condiciones normales, ¿qué volumen ocuparán?  
b) ¿Qué masa de gas amoníaco tenemos en un recipiente de 100 L de capacidad si se encuentra a una temperatura de 30 °C y una presión de 2 atm?

**A.5.-** ¿Cómo es posible tener 0,3 L de una disolución 1 M, si 1 M quiere decir que se tiene un mol en un litro? ¿Cuál será la concentración en g/L de una disolución obtenida al disolver 0,2 mol de unidades fórmula de hidróxido de sodio en agua hasta un volumen de 400 mL?

**A.6.-** Calcula la masa de soluto necesaria para preparar 0,5 L de una disolución 0,5 M de nitrato de amonio. ¿Qué volumen de agua se necesita?

**A.7.-** Calcula la composición centesimal del oxalato de plata,  $C_2O_4Ag_2$ , a partir de las masas atómicas del carbono, oxígeno y plata.

**A.8.-** Una sustancia tiene la siguiente composición centesimal: 56,58 % de potasio, 8,69 % de carbono y 37,73 % de oxígeno. Calcula su fórmula empírica.

**A.9.-** El ácido clorhídrico reacciona con el hierro dando lugar a cloruro de hierro (III) y desprendiendo dihidrógeno gaseoso.

a) Escribe y ajusta la ecuación correspondiente.

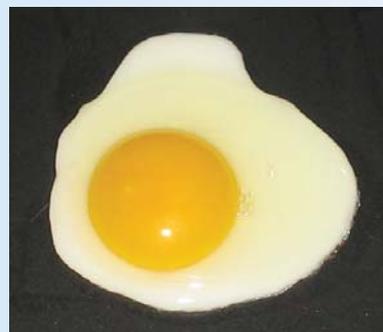
b) Si tenemos 200 mL de una disolución 0,2 M de ácido clorhídrico y en ella echamos 5 g de hierro, calcula:

1) Cantidad de hierro que queda sin reaccionar.

2) Volumen de dihidrógeno que se desprende, supuestas condiciones normales.

**A.10.-** Clasifica como exo o endoenergéticos los siguientes procesos:

- El horneado de un bizcocho.
- La fotosíntesis.
- La fritura de un huevo.
- La combustión de una vela.



**A.11.-** La descomposición del clorato de potasio al calentarlo se puede representar con la siguiente ecuación:



a) Calcula la energía que es necesario proporcionar al sistema cuando se obtienen 10 L de dióxigeno medidos en condiciones normales.

b) ¿Desaparece esta energía? Explica qué ocurre con ella.

**A.12.-** Comenta las siguientes expresiones indicando si son correctas o incorrectas. Explica lo que consideres erróneo proponiendo una redacción correcta.

a) Ácido es toda sustancia que contiene hidrógeno.

b) Para que una sustancia sea una base es necesario que tenga iones  $\text{OH}^-$ .

e) Cuando una sustancia se disocia cede iones  $\text{H}^+$  o cede iones  $\text{OH}^-$ .

**A.13.-** Escribe las ecuaciones que representan la disociación de una sustancia al disolverla en agua o bien la reacción que tiene con el agua para los siguientes casos:

a) Hidróxido de sodio. b) Cloruro de amonio. c) Ácido perclórico. d) Óxido de calcio. e) Sulfato de litio.

**A.14.-** Indica si las siguientes disoluciones son ácidas o básicas, expresando también la concentración de iones hidronio en cada caso. a)  $\text{pH} = 3,5$ ; b)  $\text{pH} = 7,01$ ; c)  $\text{pH} = 12$ .

**A.15.-** Disolvemos 7,3 g de cloruro de hidrógeno en el agua suficiente para alcanzar un volumen de 250 ml. ¿Cuál será el  $\text{pH}$  de esa disolución?

**A.16.-** Escribe la ecuación que representa la reacción que ocurre entre el óxido de calcio y el ácido clorhídrico. Explica cuál actúa como ácido y cuál como base. Si queremos neutralizar 1 L de ácido 2,5 M, ¿cuánto óxido de calcio necesitaremos?

**A.17.-** Escribe la fórmula o el nombre de las siguientes especies químicas:

óxido de cesio

ácido fosfórico

fosfina

pentacloruro de fósforo

hidróxido de aluminio

dióxido de carbono

óxido de estaño (IV)

hidróxido de amonio

fluoruro de oro (III)

ácido bromhídrico

trióxido de dihierro

cloruro de cinc

carbonato de hierro (II)

clorato de magnesio

óxido de cobre (II)

hidruro de sodio

amoníaco

ácido nítrico

fosfato de hierro (III)

hipoclorito de sodio

dihidrogenofosfato de calcio

silicato de magnesio

nitrito de oro (I)

ácido sulfhídrico

sulfato de potasio

ácido cloroso

bromato de amonio

sulfato de cesio

sulfuro de bario

hidrogenocarbonato de sodio

sulfato de plata

trisulfuro de diantimonio

sulfito de aluminio

$\text{MnI}_3$

$\text{Sr}(\text{OH})_2$

$\text{CdS}$

$\text{HNO}_2$

$\text{KHSO}_4$

$\text{CaO}$

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

$\text{FeO}$

$\text{ClO}^-$

$\text{HClO}_4$

$\text{NI}_3$

$\text{H}_2\text{SO}_4$

$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

$\text{CO}$

$\text{Cl}^-$

$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$

$\text{CuSO}_4$

$\text{KMnO}_4$

$\text{HF}$

$\text{CuF}$

$\text{Cr}(\text{OH})_2$

$\text{Na}_2\text{CO}_3$

$\text{TiO}_2$

$\text{H}_3\text{O}^+$

$\text{FePO}_4$

$\text{MnO}_2$

$\text{Na}_2\text{CrO}_4$

$\text{Fe}(\text{ClO}_2)_2$

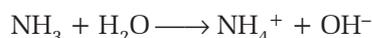
$\text{IO}_4^-$

$\text{FeS}$

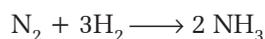
## 1

## EL AMONIACO

El amoníaco es un gas incoloro de olor fuerte y picante. Su punto de ebullición es  $-33,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  y el de congelación  $-77,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es muy soluble en agua: a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y 1 atm de presión se disuelven 516 gramos de amoníaco en un litro de agua. El amoníaco disuelto reacciona con el agua y da lugar a una disolución básica. Esta disolución contiene concentraciones débiles de los iones amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y oxhidrilo ( $\text{OH}^-$ ):



El amoníaco se produce en la naturaleza en los procesos de putrefacción de residuos animales o vegetales debido a la acción de determinados microorganismos. Sin embargo, el método de producción de amoníaco más importante es el ideado por el químico alemán Haber. El llamado proceso Haber consiste en la reacción entre el dinitrógeno y el dihidrógeno en estado gaseoso en presencia de catalizadores:



Tanto el gas como su disolución en agua tienen carácter básico y reaccionan con los ácidos neutralizándolos. Si se hace reaccionar cloruro de hidrógeno con amoníaco (ambos gaseosos a temperatura ambiente) se produce una nueva sustancia, el cloruro de amonio, que es sólida a esa temperatura..

**A.1.-** Observa la formación del cloruro de amonio. Escribe su ecuación.

La disolución de amoníaco en agua tiene usos domésticos, para limpieza. El amoníaco líquido se emplea en máquinas frigoríficas y en la fabricación de hielo. También se emplea como disolvente sustituyendo en ocasiones al agua. Por ejemplo, el amoníaco puede disolver los metales alcalinos y alcalinotérreos sin que sufran transformaciones.

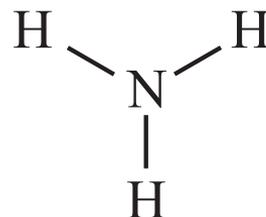
La reacción ácido-base del amoníaco con los ácidos produce sales amoniacaes como el cloruro de amonio que se utiliza en las pilas secas, el sulfato de amonio que se utiliza como abono o el nitrato de amonio que es explosivo.

**A.2.-** Escribe la reacción de formación de las sales amónicas anteriores. Calcula la masa de ácido clorhídrico al 35% y el volumen de amoníaco que son necesarios para obtener 1 t de cloruro de amonio si el rendimiento del proceso es del 75%.

### La fijación del nitrógeno atmosférico

Las sustancias orgánicas de las que el nitrógeno forma parte como las proteínas, el ADN o los aminoácidos son los componentes esenciales de los organismos vivos. Casi todas estas sustancias se elaboran en los vegetales y de aquí pasan a los animales. Las plantas utilizan como materia prima los nitratos minerales presentes en el suelo ya que no pueden utilizar el nitrógeno libre que existe en la atmósfera.

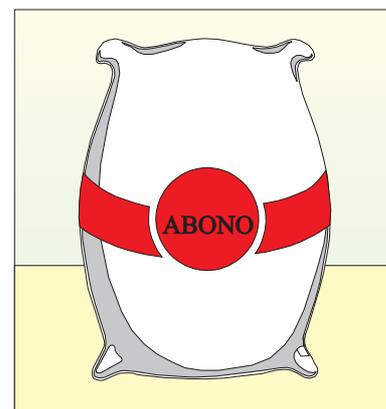
En el siglo XIX el químico alemán Liebig demostró la dependencia que existe entre el crecimiento de las plantas y la presencia en la tierra de compuestos nitrogenados, las sustancias llamadas **fertilizantes o abonos**. Tradicionalmente y sin saber el porqué habían sido la orina y el estiércol los fertilizantes empleados. Estos residuos se des-



Molécula de amoníaco



El amoníaco es una base



componen produciendo amoníaco lo que proporciona el nitrógeno necesario para las plantas. A partir de los descubrimientos de Liebig y otros químicos se empezaron a añadir al suelo sustancias nitrogenadas como el nitrato de potasio o el guano (deposiciones de aves marinas en algunas islas peruanas), y más tarde el nitro de Chile o caliche (nitrato de sodio descubierto en grandes depósitos en Chile). Así se logró duplicar y triplicar las cosechas de alimentos lo que determinó el fin del problema del hambre en Europa y en los países desarrollados.

Además de la agricultura, industrias como las de colorantes y las de armamento utilizaron las sustancias nitrogenadas para revolucionar sus respectivos campos.

En la segunda mitad del siglo XIX, el químico italiano Sobrero inventa la nitroglicerina, explosivo muy potente pero muy inestable. Posteriormente Alfred Nobel, químico sueco, inventó la dinamita en la que la nitroglicerina se absorbía en tierra de infusorios. La dinamita es bastante menos sensible y, por tanto, más fácil de manipular que la nitroglicerina. La fortuna que hizo Nobel con su destructivo invento le permitió establecer los premios a los avances científicos, literarios y de la paz que llevan su nombre.

El desarrollo de los explosivos permitió el avance de la minería y facilitó el tendido de las vías férreas, lo que acompañó a la Revolución Industrial del siglo XIX. La industria armamentista también se sirvió de estos avances por lo que la obtención de sustancias nitrogenadas se convirtió en un objetivo estratégico militar.

La producción de sustancias nitrogenadas a finales del siglo XIX cubría apenas las necesidades y promovió la investigación de técnicas para sintetizar sustancias nitrogenadas como el amoníaco, el cual, directamente como sal amoniacal, o mediante su oxidación a ácido nítrico y nitratos, evitara la dependencia del guano y del nitro sudamericanos. En la primera década del siglo XX Fritz Haber desarrolla el proceso que lleva su nombre para sintetizar amoníaco por combinación directa del nitrógeno atmosférico y el hidrógeno.

La producción aumentó considerablemente durante la 1ª Guerra Mundial, pues los países aliados dominaban las vías marítimas y cortaron el suministro de nitro y guano hacia Alemania, que no tuvo más remedio que crear plantas industriales de producción de amoníaco sintético para garantizar la provisión de explosivos y alimentos.

Fritz Haber fue una de las figuras más importantes de la ciencia alemana en este período. Además de conseguir la síntesis del amoníaco (lo que permitió que la guerra se prolongase durante uno o dos años al disponer Alemania de explosivos y fertilizantes), sintetizó gases venenosos que Alemania comenzó a utilizar como arma química en los frentes de batalla. A pesar de la gran consideración que tenía, el hecho de ser judío provocó su exilio cuando los nazis llegaron al poder.

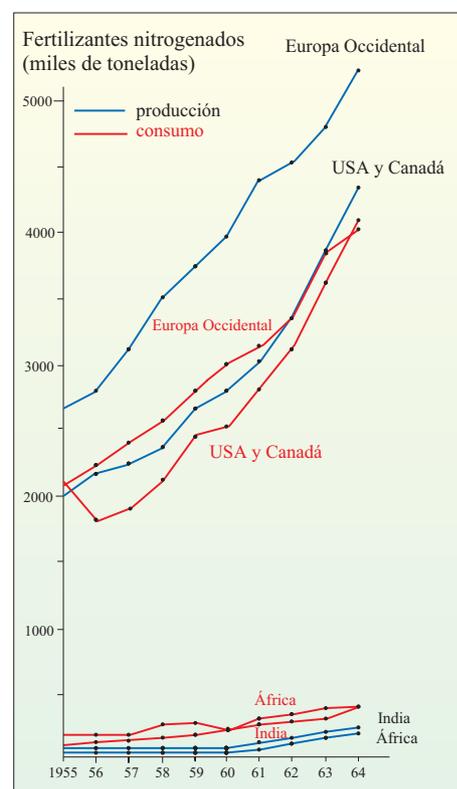
## Contaminación por fertilizantes

El empleo masivo de abonos nitrogenados y fosfatados, así como el empleo de detergentes con fosfatos ha producido una contaminación del agua de los ríos y presas en las que están disueltas estas sustancias. Al igual que en la tierra, los abonos estimulan el crecimiento de plantas y algas en el agua que recubren su superficie e impide que la luz solar pase a mayores profundidades, causando la muerte de las plantas que allí se localizan. Su descomposición hace que el oxígeno escasee y se perturbe la capacidad autodepuradora del medio con lo que el equilibrio ecológico del entorno queda afectado. Este proceso se conoce con el nombre de **eutrofización**.

Otro problema importante del mismo origen es la alta concentración de nitratos en el agua de abastecimiento a las poblaciones humanas. Los nitratos ingeridos se transforman en nitritos en el organismo, y éstos pueden producir compuestos supuestamente cancerígenos. Existen estadísticas que correlacionan



Alfred Nobel



la cantidad de cánceres de estómago producidos con el contenido de nitratos en el agua que consumen determinadas poblaciones.

**A.3.-** La gráfica anterior muestra la producción de abonos nitrogenados y su consumo en la década 1955-1964. Partiendo de estos datos analiza la idoneidad en el reparto y producción de abonos y alimentos en nuestro planeta.

**A.4.-** Analiza las consecuencias sociales del desarrollo del proceso Haber para sintetizar amoníaco.

## 2 OTROS GRUPOS FUNCIONALES

### Derivados halogenados

Se pueden considerar como hidrocarburos en los que algunos hidrógenos de sus moléculas son sustituidos por halógenos. Se nombran como los hidrocarburos, pero anteponiendo el nombre de los halógenos que integren la molécula con los correspondientes prefijos.

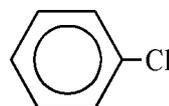
Grupo funcional                     $-X$  (X es un átomo de un halógeno)

Fórmula general                     $R-X$

Compuestos más sencillos

$ClCH_3$                                    $CH_3-CHI-CH_2-CH_3$   
clorometano                                  2-yodobutano

$Cl_3CH$                                    $BrCH=CHBr$   
triclorometano                                  1,2-dibromoeteno



clorobenceno

Las aplicaciones de estos compuestos son numerosas:

\* Disolventes de grasas. Se usan para la «limpieza en seco», o para extraer perfumes o drogas como la quinina, nicotina o cafeína. Algunos de los más utilizados son el diclorometano y el tetraclorometano (tetracloruro de carbono).

\* Insecticidas como el 1,2,3,4,5,6-hexaclorohexano (lindano) o el para-diclorobenceno.

\* Extintores como el bromoclorodifluoro-metano.

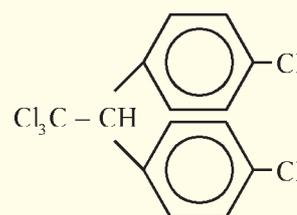
\* Polímeros como el teflón que se utiliza para recubrir sartenes y otros utensilios de cocina. Se produce por polimerización del tetra-fluoroeteno.

\* Anestésicos como el triclorometano (cloroformo), el cloroetano o el tricloroeteno.

\* Para la síntesis de muchos otros productos de interés.

Los derivados halogenados que contienen flúor se conocen con el nombre de **freones**. Son compuestos muy inertes y se les utiliza como gases propulsores en los aerosoles, como fluidos de refrigeración en frigoríficos y aparatos de aire acondicionado, como disolventes, anestésicos, líquidos de extintores, etc. Aunque tienen poca reactividad química, se ha descubierto que los freones liberados a la atmósfera, se acumulan en ella y pueden reaccionar con el ozono ( $O_3$ ). Esta sustancia forma una capa en la atmósfera alta que absorbe los rayos ultravioleta más energéticos, impidiendo que lleguen a la superficie de la Tierra, lo que protege la vida sobre la misma. A la vista de la disminución de la concentración del ozono, sobre todo en las regiones que corres-

El DDT



El diclorodifeniltricloroetano, DDT, es uno de los insecticidas más profusamente utilizados en agricultura. Su acción ha permitido un gran aumento de las cosechas, disminuyendo el problema del hambre en el tercer mundo. Pero presenta graves problemas de contaminación, no es biodegradable por lo que se acumula en los organismos de las plantas y peces, y es absorbido por el tejido adiposo de los animales superiores y el hombre al consumirlos. Parece ser que es tóxico como probable agente cancerígeno.

### Nomenclatura de los freones

La fórmula general de los freones se puede escribir como  $C_{n+1}H_{p-1}F_qCl_z$ . Los freones se designan con los números n, p y q. Si n = 0, se omite. Ejemplos:

- freón 11:  $CFCl_3$
- freón 113:  $C_2F_3Cl_3$

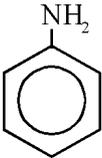
ponden a los polos («agujeros» de la capa de ozono), hoy día se tiende a reducir la producción de estas sustancias sobre todo en aerosoles y fluidos de refrigeración.

**A.1.-** a) Escribe la fórmula de las sustancias que aparecen en la información anterior.

b) Escribe todos los posibles isómeros del 1,1-dicloropropano.

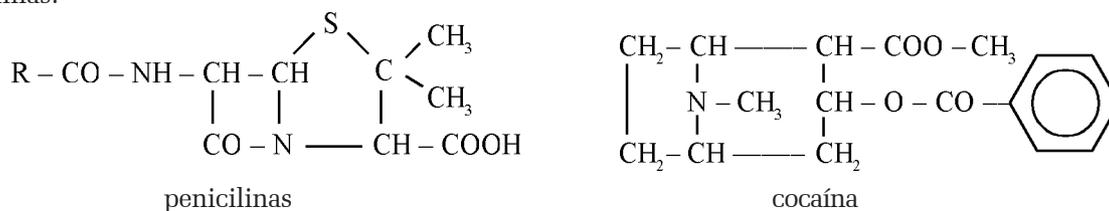
## Aminas

Se pueden considerar derivados del amoníaco en cuyas moléculas, los hidrógenos se sustituyen por radicales hidrocarbonados. Según se sustituyan uno, dos o los tres hidrógenos, tendremos las aminas primarias, secundarias o terciarias.

	amina primaria	amina secundaria	amina terciaria
<i>Fórmula general</i>	$R - NH_2$	$R - NH - R'$	$\begin{array}{c} R \quad R' \\ \diagdown \quad / \\ N \\   \\ R'' \end{array}$
<i>Terminación</i>	amina		
<i>Aminas más sencillas</i>	$CH_3 - NH_2$ metilamina	$CH_3 - NH - CH_3$ dimetilamina	$\begin{array}{c} CH_3 \quad CH_3 \\ \diagdown \quad / \\ N \\   \\ CH_3 \end{array}$ trimetilamina
	 fenilamina (anilina)		

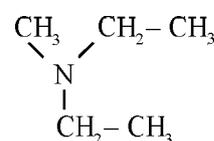
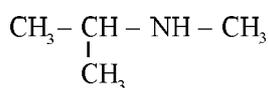
Las aminas son bastante solubles en agua y tienen, al igual que el amoníaco, carácter básico. Las más sencillas se presentan en estado gaseoso. Tienen un olor fuerte a pescado y se utilizan en la fabricación de detergentes, colorantes y otras sustancias. Las más importantes son las aromáticas, la anilina y sus derivados, que son materia prima para la industria de colorantes.

Las aminas juegan un papel primordial en los sistemas bioquímicos; forman parte de una gran variedad de sustancias como los aminoácidos, las proteínas, los alcaloides o las vitaminas. Existen muchos derivados con una gran actividad fisiológica como las penicilinas, la novocaína o la cocaína. La fibra artificial «nylon» se fabrica a partir de aminas.



**A.2.-** a) Escribe la fórmula de las siguientes aminas: propilamina, dietilamina y 2,3-dimetilfenilamina.

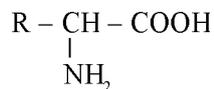
b) Nombra las siguientes aminas:



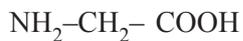
## Aminoácidos

Son compuestos derivados de los ácidos orgánicos, donde un hidrógeno de los que están unidos al carbono unido al grupo carboxilo, está sustituido por el grupo amino.

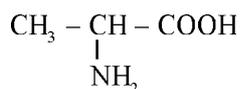
### Fórmula general



### Aminoácidos más sencillos



ácido aminoetanoico (glicina)

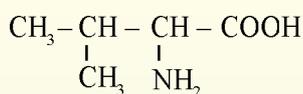


ácido aminopropanoico (alanina)

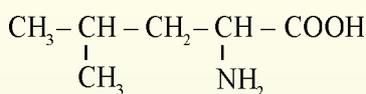
Los aminoácidos presentan a la vez propiedades básicas, debido al grupo amino, y ácidas, debido al grupo carboxilo. Esto les permite unirse entre sí formando moléculas más o menos grandes llamadas **péptidos**, base principal de las **proteínas**, que son los constituyentes fundamentales de las células que forman los tejidos de los seres vivos.

Como componentes de las proteínas se han aislado unos veinte aminoácidos. Aunque todos los seres vivos pueden sintetizar aminoácidos, muchas especies no tienen la posibilidad de sintetizar en sus células todos los que necesitan para vivir. En la especie humana existen ocho aminoácidos de este tipo; se les llama aminoácidos esenciales dado que es indispensable que formen parte de la dieta para que se puedan sintetizar las proteínas necesarias.

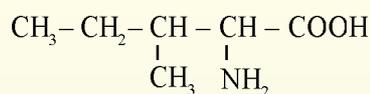
## AMINOÁCIDOS ESENCIALES PARA LA ESPECIE HUMANA



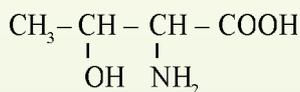
Valina



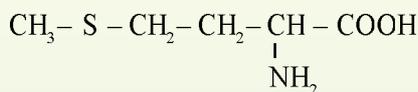
Leucina



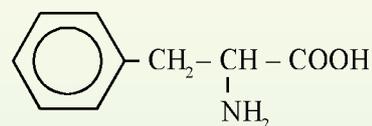
Isoleucina



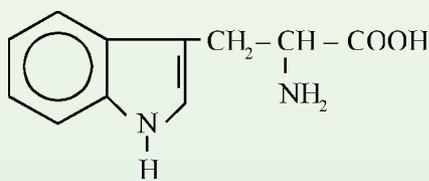
Treonina



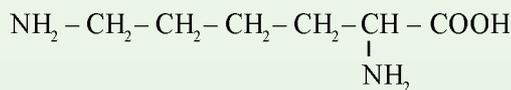
Metionina



Fenilalanina



Triptófano



Lisina

Me mira a los ojos y lo dice sin una sombra de duda en la voz:

- Le voy a confesar algo: me he acostumbrado a seguir viviendo porque soy demasiado cobarde para quitarme de en medio.

¿Tanto echa de menos a su mujer? (Carmen, la esposa, murió una noche de junio de 1986, sin avisar, cuando apenas hacía un año que los Ochoa habían regresado a España, después de 55 años de matrimonio y de 50 de exilio científico).

- ...Yo estuve locamente enamorado de Carmen toda la vida. Y ahora la vida sin ella no es vida. Esto no quiere decir que lo pase mal, no. Viajo, escucho música, etc. Ya no trabajo, pero hablo mucho con científicos jóvenes, les aconsejo si hace falta. El tiempo está ocupado. Pero no tengo interés por la vida.

¿Tal vez usted, biólogo y a la vez enamorado, ha descubierto dónde está la clave secreta del amor?

- El amor es física y química... Pero una física y química muy sofisticadas, ¿eh? Yo creo que somos eso, y nada más: física y química.

¿Debo entender que, en su opinión, el alma no existe?

- Cada vez que contesto negativamente a una pregunta de ese tipo recibo un montón de cartas intentando convencerme de que estoy equivocado. Los españoles son intolerantes, quieren que los demás piensen como ellos. Mi mujer era creyente, yo no; pero siempre vivimos muy felices, respetándonos nuestras ideas. A veces ella se olvidaba de ir a misa y yo le decía: «Carmen, la misa...»

A muchos científicos la ciencia les ha llevado a creer en Dios.

- En efecto. Hay científicos muy religiosos, incluso en extremo. Pero yo no creo en lo sobrenatural.

¿Ni siquiera después de la muerte de su esposa ha sentido usted la tentación del consuelo religioso?

- Yo no busco consuelo fácil. Prefiero no tener consuelo.

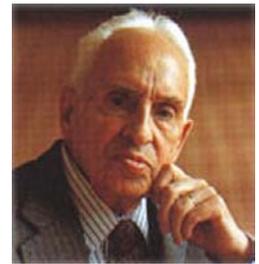
.....

¿Cree usted que hay que ponerle límites éticos a la investigación?

- Desde luego que el científico tiene que tener planteamientos éticos. Yo creo que quienes colaboran conscientemente para desarrollar algo con fines destructivos, como ocurrió con la bomba atómica, son condenables. Ahora bien, cuando uno está investigando no piensa mucho si la aplicación de sus descubrimientos puede ser peligrosa. Yo siempre digo que todo lo que contribuya a aumentar el conocimiento humano debe hacerse, aunque no se sepa lo que puede venir detrás. Naturalmente, debe intentar impedirse la utilización de aquello que puede ser perjudicial para la humanidad.

¿Y existen de verdad esos laboratorios de las películas en los que se obliga a los sabios a trabajar en misteriosas y potentes armas?

- Yo creo que sí. Hay una investigación de defensa, lo que en Estados Unidos se llama clasificada, es decir, secreta. Eso ocurre en muchos países. Aunque no creo que en esos lugares trabaje nadie obligado, porque a un científico no se le puede obligar a hacer lo que no quiere. Pero sí hay personas a las que se les pide esa dedicación. Y cuando el llamado patriotismo anda detrás, mal asunto...



Severo Ochoa (1905-1993)

**A.1.-** a) ¿Crees que la vida es algo más que física y química? ¿Está el alma construida de átomos?

b) ¿Los científicos son personas de una mentalidad diferente? ¿Sus opiniones son objetivas? ¿Son responsables del uso que se haga de sus descubrimientos? Etc.

# Capítulo 3

## Contenido

Unidad 1  
Cinemática  
Unidad 2  
Dinámica



# Estudio del movimiento

«Desde los días de Newton, la ciencia ha tenido una confianza en sí misma que jamás ha vuelto a decaer».

Isaac Asimov «Momentos estelares de la ciencia» (1981)

## ¿Qué trabajaremos?

En nuestra vida diaria usamos con frecuencia las nociones de movimiento, velocidad, aceleración, fuerza, etc. Sin embargo, no resulta evidente todo lo que se relaciona con el movimiento y con las fuerzas, pues hay preguntas que debemos pensar detenidamente antes de contestar. Por ejemplo: ¿es posible que aunque estemos ahora sentados leyendo estas palabras nos movamos con una velocidad de 30 kilómetros cada segundo? ¿Es posible que un cuerpo con mucha aceleración vaya con poca velocidad? ¿Por qué no cae la Luna sobre la Tierra a pesar de la atracción que existe entre ambos astros? Preguntas como éstas serán algunas de las que trataremos en este capítulo.

En primer lugar estudiaremos el movimiento desde un punto de vista descriptivo, sin contar con las causas que puedan modificarlo. Y a continuación, lo estudiaremos relacionándolo con las causas que pueden provocarlo, anularlo o, en general, modificarlo.



# 1

# CINEMÁTICA



## IDEAS PRINCIPALES

Trayectoria, posición, distancia recorrida, instante, intervalo de tiempo

Rapidez

Velocidad

Aceleración tangencial, normal y total

Ecuaciones del movimiento

Posición angular, radián

Rapidez angular

Composición de movimientos

En esta unidad hacemos una descripción del movimiento científicamente más rigurosa y completa que en cursos anteriores, recordando algunos de los conceptos ya estudiados, como posición, velocidad, aceleración ...; pero tratados de una forma más general, sin limitarnos al caso en que conozcamos la trayectoria. De esa manera se incluyen algunas ideas nuevas relacionadas con el carácter vectorial de las magnitudes que describen el movimiento, las componentes de la velocidad y sobre todo las componentes de la aceleración, el movimiento circular, etc.

# 1

## EL MOVIMIENTO

La Cinemática trata de la descripción del movimiento de los cuerpos. Pero, ¿cuándo hay movimiento?, ¿se mueven los asientos de un coche si circula a 100 km/h por una carretera?, ¿se mueven cuando el coche está parado en el arcén? Las preguntas anteriores no tienen respuesta; es necesario especificar respecto a qué queremos saber si un cuerpo está en movimiento. En ese sentido se dice que el movimiento es **relativo** al sistema de referencia elegido.



3.1

Puede utilizarse como repaso de los conceptos de cinemática estudiados en 4º de la ESO.

### 1.1 Magnitudes necesarias para describir el movimiento

Aunque los cuerpos son extensos, al describir sus movimientos se recurre a identificarlos con un punto que se llama **centro de masas** (cdm) o **centro de gravedad**. Podemos decir que el centro de gravedad es aquel punto en el que se puede suponer que actúa la suma de todas las fuerzas gravitatorias que se ejercen sobre cada partícula que forma el cuerpo. En una pelota el centro de masas está en su centro geométrico y en una persona erguida, el centro de masas estaría a la altura del ombligo.

Para describir un movimiento, como el de subida y bajada de una pelota que se lanza verticalmente, utilizaremos los siguientes términos:

**Trayectoria** es la línea formada por todos los puntos que ocupa el centro de masas de ese cuerpo a lo largo de todo el movimiento. Para describir el movimiento escogemos un punto sobre la trayectoria al que llamamos **punto de referencia**, (R), y adoptamos un **criterio de signos**. El punto que escojamos será el que más nos interese para facilitar la descripción del movimiento.

**Posición** ( $e$ ) es la distancia, medida sobre la trayectoria, desde el punto que tomamos como referencia al punto donde se encuentre el cuerpo en un momento determinado. El **signo** positivo o negativo nos indicará si se encuentra hacia un lado u otro del punto de referencia.

**Diferencia de posiciones** ( $\Delta e = e_2 - e_1$ ). Es la distancia que hay entre dos posiciones.

**Distancia recorrida**. Coincide con el valor absoluto de la diferencia de posiciones  $|\Delta e|$ , sólo cuando el movimiento es siempre en el mismo sentido.

**Instante  $t$**  en el que el móvil se encuentra en una posición.

**Intervalo de tiempo  $\Delta t$** , tiempo que transcurre entre dos instantes.

#### CENTRO DE MASAS O DE GRAVEDAD

Aunque centro de gravedad y centro de masas son conceptos diferentes su posición coincide cuando las dimensiones del sistema son tales que se pueda considerar que la atracción gravitatoria no cambia de un punto a otro del sistema.

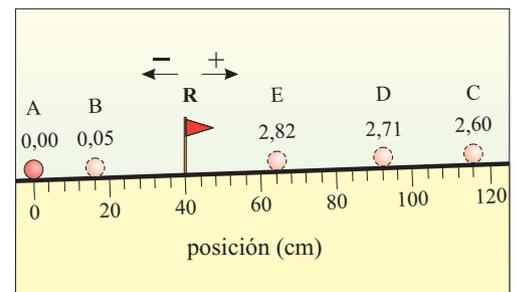
**A.1.-** La figura representa el movimiento de una bola que sube y baja por un raíl inclinado. La bola pasa sucesivamente por las posiciones A, B, C, D y E. El número colocado encima de la bola en cada caso representa lo que señalaba un cronómetro cuando la bola pasaba por la posición indicada.

a) Recoge en una tabla las posiciones y los instantes que correspondan a cada situación.

b) ¿Qué distancia recorre la bola cuando se traslada de A a B?, ¿qué tiempo tarda? ¿Qué distancia recorre la bola cuando se traslada de B a D?, ¿qué tiempo tarda?

c) ¿Cuánto dura un instante?

d) ¿Ha tenido la bola siempre la misma rapidez?



## Rapidez media y rapidez instantánea

La **rapidez media** nos informa de la distancia que recorre el móvil, por término medio, en cada unidad de tiempo. Para calcularla dividimos la distancia recorrida entre el tiempo empleado en hacerlo.

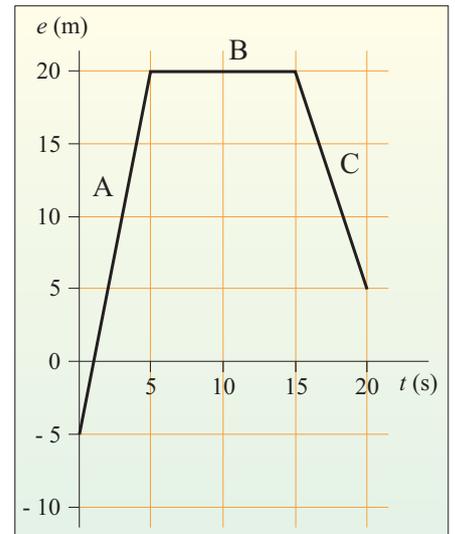
A la rapidez que tiene un móvil en cada instante se le llama **rapidez instantánea**. Nos indica cuál sería la distancia recorrida por el móvil en la unidad de tiempo, si a partir de ese momento mantuviera constante su rapidez.

La unidad de rapidez en el SI es la de un móvil que recorre un metro en cada segundo. Su símbolo es «m/s». El sentido del movimiento se indica mediante un **signo**, de acuerdo con el criterio de signos escogido.

Cuando la rapidez es la misma en todos los instantes del recorrido se dice que el **movimiento** es **uniforme**, mientras que cuando la rapidez cambia se dice que el **movimiento** es **acelerado**.

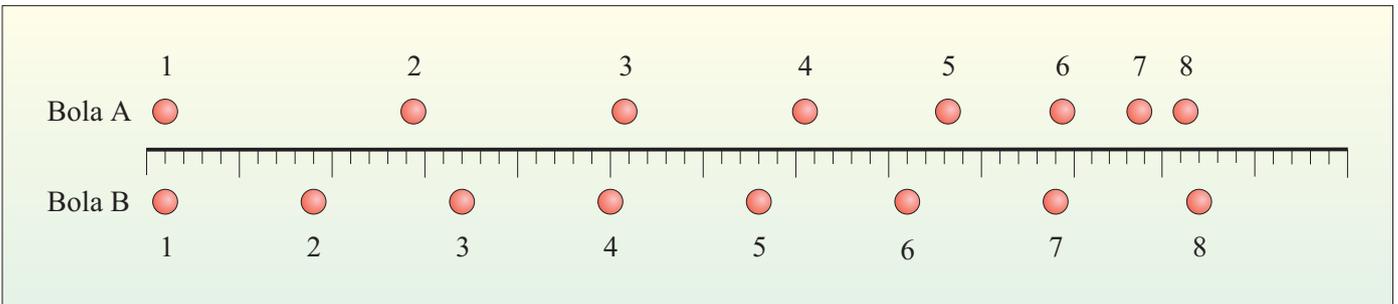
## Representaciones gráficas e/t y v/t

La presentación de los datos de un movimiento se puede hacer en una tabla o mediante una gráfica en la que en ordenadas se representa el valor de algunas de las magnitudes que utilizamos para describir el movimiento y en abscisas se representan los sucesivos instantes.



- P** **A.2.-** a) ¿Qué representa un punto cualquiera de la gráfica e/t de la figura adjunta?, ¿es un punto de la trayectoria? Explica la respuesta.  
 b) Describe todas las características de los diferentes tramos del movimiento que se puedan conocer a partir de la gráfica (posición inicial y final, distancia recorrida, rapidez, tipo de movimiento, trayectoria).  
 c) Dibuja la gráfica v/t correspondiente a ese movimiento.

- P** **A.3.-** La figura representa el movimiento de dos bolas que ruedan paralelamente sobre una mesa. Entre ambas hay una cinta métrica. El número sobre cada bola representa el instante en el que la bola se encontraba en esa posición.



- a) ¿En qué instante o instantes aproximados tienen ambas bolas la misma rapidez?  
 b) ¿En qué instante o instantes aproximadamente una bola adelanta a la otra? En cada instante que cites di qué bola es la que adelanta a la otra.  
 c) Dibuja la gráfica posición/tiempo para cada bola utilizando los mismos ejes para ambas. Procura que quede clara la relación entre los dos movimientos y que las gráficas sean coherentes con las respuestas a los apartados a) y b).  
 d) ¿Qué tipo de movimiento tiene cada bola?



La rapidez instantánea no se puede medir directamente pero sí se puede calcular, si conocemos la función  $e = f(t)$ , con ayuda de una operación matemática que se llama «derivada de una función». Caben otras aproximaciones menos formales, y quizás más intuitivas, que serán las que seguiremos en este curso, de forma parecida a como lo hizo Galileo, que no disponía del cálculo diferencial que se «inventó» casi un siglo después de su muerte.

### Medida directa

La rapidez instantánea no se puede medir directamente dividiendo la distancia recorrida entre el intervalo de tiempo empleado en recorrerla. Ya que un instante no tiene duración, nos encontramos con una dificultad irresoluble, pues instantáneo significa que  $\Delta t = 0$  y en ese tiempo no se recorre nada.

Una forma aproximada de medir la rapidez instantánea es medir distancias recorridas en  $\Delta t$  muy pequeños. Aunque lo que calcularíamos así sería la rapidez media, cuanto más pequeño sea el intervalo de tiempo alrededor del instante en el que queremos calcular la rapidez instantánea, más se aproximará el valor de la rapidez media a la rapidez instantánea.

Este procedimiento tiene graves problemas. El primero ya lo hemos mencionado, y es que nunca medimos en realidad la rapidez instantánea. Además, cuanto más pequeño sea  $\Delta t$  más difícil resulta medirlo y más error se comete.

### Medida indirecta

El estudio del movimiento uniformemente acelerado lo hizo Galileo en los primeros años del s. XVI, por lo que lógicamente no pudo utilizar ningún material sofisticado. Galileo, que sólo podía medir  $\Delta t$  relativamente grandes, aprovechó una propiedad del movimiento uniformemente acelerado. Puesto que en este tipo de movimiento la rapidez aumenta o disminuye linealmente con el tiempo, el valor medio de la rapidez en un cierto intervalo de tiempo es igual a la mitad de la suma de las rapidezces en los instantes inicial y final del intervalo.

Si  $v_i$  es la rapidez en el instante  $t_i$  y  $v_f$  es la rapidez en el instante  $t_f$ , la rapidez media  $v_m$  en el intervalo de tiempo  $\Delta t = t_f - t_i$  se calcula:

$$v_m = \frac{v_i + v_f}{2}$$

En la experiencia que realizó Galileo, dejaba caer una bola por un plano inclinado y medía los tiempos que tardaba en recorrer unas determinadas distancias a lo largo del plano. Puesto que no lanzaba la bola, sino que la dejaba caer, la  $v_i = 0$ , por lo que la rapidez al final del intervalo se podía calcular como el doble de la rapidez media que era la que se podía medir:  $v_f = 2 v_m$ .

### Análisis de los datos recogidos en una experiencia

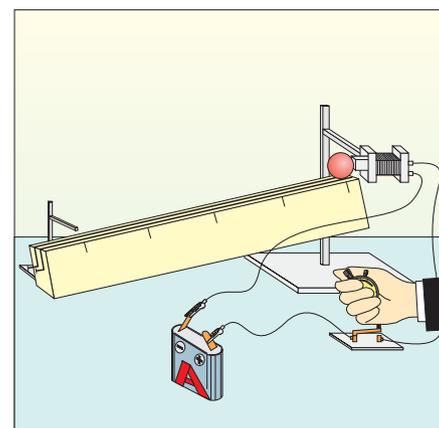
Como la caída libre de un cuerpo en distancias cortas (1 o 2 metros) ocurre en un tiempo muy pequeño, Galileo «amortiguó» la caída haciendo que fuese a lo largo de una superficie inclinada. Él supuso que eso no afectaba a la naturaleza del movimiento, salvo en el aspecto evidente de «disminuir» la aceleración de caída, es decir, de que el aumento de la rapidez fuese más lento.

Para repetir la experiencia de Galileo hemos utilizado un dispositivo como el de la figura. Para asegurarnos de que la bola no tuviese rapidez inicial se la tenía sujeta con un electroimán, de forma que al abrir el circuito cesaba la atracción y la

La primera dirección se puede utilizar para dibujar las gráficas  $e/t$  y  $v/t$  de un movimiento uniforme o uniformemente acelerado. Pueden cambiarse los valores de posición inicial, velocidad inicial y aceleración.

La segunda proporciona un estudio del significado de las gráficas posición/tiempo y velocidad/tiempo para estos movimientos.

En la tercera debes hacer clic en la simulación «El hombre móvil». Representa las gráficas de posición,



bola comenzaba a caer. La misma persona que abría el circuito ponía en marcha el cronómetro, y lo paraba cuando la bola chocaba con un tope colocado a la distancia señalada en el plano. Además otras dos personas también medían el tiempo. Cuando la experiencia la lleva a cabo una persona lo que hace es repetir la toma de tiempos al menos tres veces. Los datos se recogen en la tabla siguiente:

$e$ (m)	$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$t_3$ (s)	$t_{\text{medio}}$ (s)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,30	1,39	1,36	1,34	1,36
0,60	1,91	1,90	1,99	1,93
0,90	2,35	2,32	2,31	2,33
1,20	2,75	2,70	2,68	2,71
1,50	2,99	3,04	3,04	3,02
1,80	3,32	3,25	3,30	3,29

Las medidas  $t_1$ ,  $t_2$  y  $t_3$  son las lecturas realizadas en los cronómetros de cada persona cuando la bola pasaba por la posición 0,30, por la posición 0,60, etc.,  $t_{\text{medio}}$  representa la media aritmética de esas tres medidas.

P

**A.4.-** a) De acuerdo con la forma de escribir las medidas, ¿cuál era la sensibilidad de los cronómetros?, ¿y la sensibilidad de la cinta métrica?

b) ¿Por qué se debe medir el tiempo tres veces para cada posición? De acuerdo con las medidas efectuadas, ¿crees que fue una decisión acertada?, ¿por qué?

c) ¿Te parece que las medidas de tiempo fueron suficientemente precisas<sup>1</sup>? ¿Cómo te parece que se podría haber mejorado la precisión de esas medidas?

d) ¿Crees necesario que se hicieran varias medidas de las distancias? Explica por qué.

e) Calcula la rapidez media de la bola en cada uno de los intervalos de tiempo. En este caso el intervalo de tiempo al que nos referimos es el transcurrido entre el instante inicial, en el que la rapidez es nula y el instante en el que la bola pasa por cada una de las posiciones señaladas.

f) Utilizando la relación entre la rapidez media y la rapidez instantánea calcula la rapidez en cada uno de los instantes en los que la bola pasó por las posiciones marcadas.

g) Representa gráficamente los valores de la rapidez instantánea frente a los instantes en los que tiene esa rapidez. ¿Qué línea se obtiene?, ¿qué significa que sea ese tipo de línea? ¿Era correcta la suposición que se hizo de que la rapidez aumentaba linealmente con el tiempo?

h) Calcula la aceleración de ese movimiento.

## Aceleración tangencial

El curso pasado sólo hablábamos de aceleración, en éste veremos que es necesario ampliar y matizar ese concepto. Llamaremos aceleración tangencial a lo que hasta ahora habíamos llamado aceleración.

La aceleración tangencial informa del cambio de rapidez en cada unidad de tiempo. La unidad de aceleración en el SI es la de un móvil cuya rapidez cambia en 1 m/s en

<sup>1</sup> La **precisión** se refiere a que los diferentes valores para una misma medida estén poco dispersos, es decir, que sean muy parecidos.

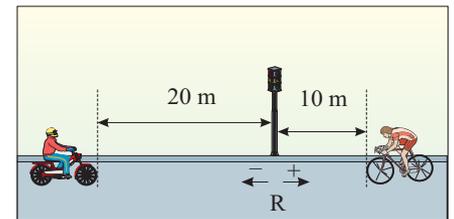
cada segundo. Su símbolo es  $m/s^2$ . Ese valor se acompaña de un signo que indica, de acuerdo con el criterio adoptado, si la rapidez aumenta o disminuye. El **signo** de la aceleración será igual al de la rapidez si está aumentando el valor absoluto de la rapidez, y será contrario si está disminuyendo.

La aceleración tangencial la podemos calcular, **cuando el cambio de rapidez es directamente proporcional al intervalo de tiempo**, mediante la expresión:

$$a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

**A.5.-** a) De acuerdo con el punto de referencia y con el criterio de signos escogido indica la posición y rapidez (en m/s) del motorista y del ciclista, si el primero avanza a 72 km/h y el segundo lo hace a 36 km/h.

b) Indica el valor y el signo de la aceleración tangencial (supuesta constante) tanto del motorista como del ciclista, si sabes que ambos han partido del reposo y que han alcanzado esa rapidez a los 10 s de iniciado el movimiento.



**A.6.-** a) Un avión vuela a 300 m/s durante 30 s. ¿Cuánto vale su aceleración tangencial?

b) Un móvil tiene a las 11 h, 30 min y 25 s una rapidez de 8 m/s. Acelera de manera uniforme y a las 11 h, 30 min y 33 s tiene una rapidez de 32 m/s. ¿Cuál ha sido su aceleración? ¿Cuál será su rapidez a las 11 h, 30 min y 30 s?

Debemos diferenciar la aceleración media de la instantánea. La aceleración media tiene en cuenta el cambio total de rapidez y el tiempo transcurrido, mientras que la aceleración instantánea se refiere a cómo cambia la rapidez en cada momento. Cuando el cambio de rapidez es el mismo en todos los momentos, es decir, la **aceleración instantánea es constante**, el movimiento es **uniformemente acelerado** (ejemplo, el de subida y bajada de la pelota lanzada hacia arriba). Cuando la aceleración instantánea cambia se dice que el movimiento es acelerado (ejemplo, el de un coche que realiza un desplazamiento en una ciudad con semáforos, atascos, etc.).

### Aceleración en el movimiento de caída libre

Se llama caída libre al movimiento de subida o bajada de cualquier cuerpo cerca de la superficie terrestre cuando podamos suponer el rozamiento despreciable. Se comprueba experimentalmente que, si la altura no es muy grande, es un movimiento uniformemente acelerado y no depende de la masa del cuerpo. El valor de la aceleración tangencial es  $9,8 m/s^2$ . Si el cuerpo sube la rapidez disminuye y si el cuerpo baja la rapidez aumenta. El signo de la aceleración es contrario al de la rapidez en el movimiento de subida y el mismo en el de bajada: coincide siempre con el que hayamos elegido para el sentido hacia abajo.

**A.7.-** En la figura se representa un movimiento de subida y bajada con una rapidez inicial de 20 m/s.

a) Indica cuál es la posición, rapidez y aceleración en cada uno de los puntos A, B, C y D representados en el dibujo.

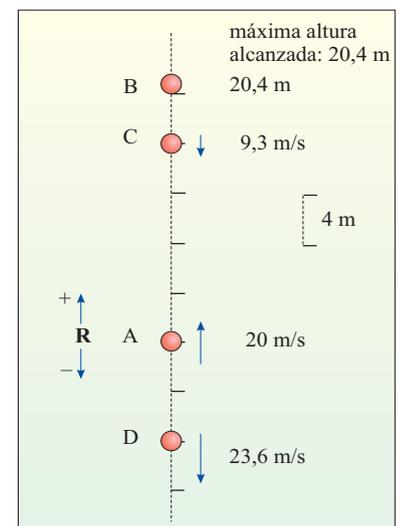
b) Calcula la distancia recorrida desde la posición A a la B. Idem, desde la posición A a la C.

c) ¿Coincide siempre la distancia recorrida con el valor absoluto de la diferencia de posiciones? Explica la respuesta.



### 3.3

Se dibujan las gráficas  $e/t$  y  $v/t$  para una bola que se lanza desde diferentes alturas y con diferentes velocidades iniciales.



## 1.2 Ecuaciones del movimiento

Las ecuaciones del movimiento son aquellas que representan la posición y rapidez de un móvil en cualquier instante. Para cada movimiento se debe tener en cuenta los valores de la posición y rapidez inicial, así como el valor de la aceleración concreta de ese movimiento.

La expresión genérica para un movimiento uniformemente acelerado es:

P

$$e = e_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_t t^2$$

$$v = v_0 + a_t t$$

$e_0$  : posición cuando se pone en marcha el cronómetro (posición inicial).

$v_0$  : rapidez cuando se pone en marcha el cronómetro (rapidez inicial).

$a_t$  : aceleración tangencial.

$t$  : instante que marca el cronómetro.

Las ecuaciones del movimiento dependen del punto que hayamos tomado como referencia y del criterio de signos que hayamos adoptado. Las ecuaciones anteriores sólo son válidas para un movimiento uniformemente acelerado, en el que el cambio de rapidez es siempre el mismo en cada unidad de tiempo, pero también se pueden utilizar para un movimiento uniforme si hacemos  $a_t = 0$ .

Para el ejemplo de la A.7, de acuerdo con el punto de referencia y con el criterio de signos elegido, las ecuaciones del movimiento son:

$$e = 0 + 20 t - 4,9 t^2$$

$$v = 20 - 9,8 t$$

### ATENCIÓN

Las ecuaciones sólo pueden aplicarse cuando la aceleración tangencial es constante.

P

**A.8.-** Un tren arranca con una aceleración tangencial de  $0,2 \text{ m/s}^2$ .

a) ¿Cuál será su rapidez a los 5 s de iniciar el movimiento?, ¿qué distancia habrá recorrido en ese tiempo?

b) Si en los cinco primeros segundos de su movimiento ha recorrido 2,5 m ¿cuántos recorrerá en los diez primeros segundos?

c) Suponiendo que la trayectoria es rectilínea, representa la posición del tren cada 2 s desde el instante inicial hasta los 8 s de iniciado el movimiento. Calcula la distancia recorrida en cada intervalo de dos segundos.

### EJEMPLO

Desde una terraza que está 8 m por encima del suelo se lanza verticalmente hacia arriba una pelota con rapidez de 20 m/s.

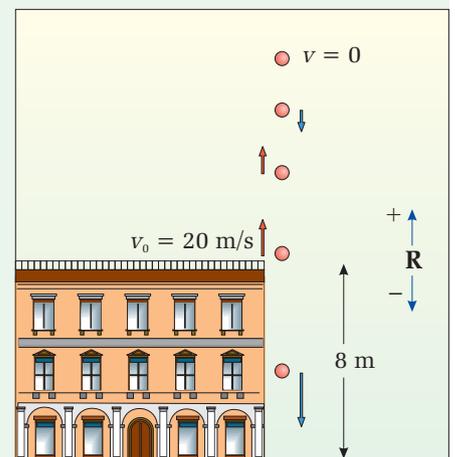
a) Calcula el tiempo que tarda la pelota en llegar a la posición de máxima altura.

b) ¿Cuál será la distancia al suelo en ese momento?

c) ¿Cuál será la rapidez cuando la pelota vuelve a pasar por la terraza?

d) ¿Qué distancia habrá recorrido la pelota entre  $t = 1,00 \text{ s}$  y  $t = 3,50 \text{ s}$ ?

En primer lugar hacemos un dibujo que represente la situación descrita. Escogemos un punto de referencia, por ejemplo, ese punto puede estar a la misma altura que la terraza, y un criterio de signos, por ejemplo, positivo hacia arriba y negativo hacia abajo.



En segundo lugar escribimos las ecuaciones del movimiento válidas para ese punto de referencia y ese criterio de signos. Puesto que la pelota está en el punto de referencia cuando  $t = 0$ ,  $e_0 = 0$ ; la rapidez inicial es  $v_0 = 20$  m/s y puesto que el signo de la aceleración es el elegido en el sentido hacia abajo,  $a_t = -9,8$  m/s<sup>2</sup>. Por lo tanto, las ecuaciones del movimiento de la pelota son:

$$\left. \begin{aligned} e &= 0 + 20t + \frac{1}{2}(-9,8)t^2 \\ v &= 20 + (-9,8)t \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} e &= 20t - 4,9t^2 \\ v &= 20 - 9,8t \end{aligned} \right\}$$

a) La posición de máxima altura es aquella que corresponde a rapidez nula:  $v = 0$ .

$$0 = 20 - 9,8t; \quad t = 2,04 \text{ s}$$

b) Para calcular la distancia al suelo en ese momento calcularemos primero la posición en ese instante:

$$e = 20 \cdot 2,04 - 4,9 (2,04)^2 = 20,41 \text{ m}$$

Esa es la distancia medida desde la terraza (que es donde hemos situado el punto de referencia). Por lo tanto, al suelo habrá 8 m más:

$$h_{\text{máxima}} = 20,41 + 8 = 28,41 \text{ m}$$

c) Para calcular la rapidez de la pelota al volver a pasar por la terraza necesitamos saber en qué instante ocurre. Sabemos que la posición en la terraza es  $e = 0$ , lo que permite escribir:

$$0 = 20t - 4,9t^2$$

Esa ecuación tiene dos soluciones,  $t = 0$  que corresponde al instante inicial, y  $t = 4,08$  s. En ese instante la rapidez será:

$$v = 20 - 9,8 \cdot 4,08 = -19,98 \text{ m/s}$$

Es razonable que esa rapidez sea negativa, pues la pelota irá bajando, y hemos tomado como criterio de signos negativo hacia abajo. El valor debería coincidir con el de partida, es decir, 20 m/s y la pequeña diferencia se debe a que se han despreciado los decimales que corresponden a las milésimas de segundo.

d) Para calcular la distancia recorrida hay que tener en cuenta que es un movimiento de ida y vuelta. El cambio de sentido ocurre para  $t = 2,04$  s, siendo la posición que corresponde a ese instante  $e_{2,04} = 20,41$  metros. Las posiciones en los instantes inicial y final son:

$$e_{1,00} = 20 \cdot 1,00 - 4,9 (1,00)^2 = 15,10 \text{ metros}; \quad e_{3,50} = 20 \cdot 3,50 - 4,9 (3,50)^2 = 9,98 \text{ m}$$

$$\text{distancia recorrida} = |e_{2,04} - e_{1,00}| + |e_{3,50} - e_{2,04}| = |20,41 - 15,10| + |9,98 - 20,41| = 15,74 \text{ m}$$

P

**A.9.-** Una esquiadora que parte del reposo, desciende con aceleración tangencial constante de 1 m/s<sup>2</sup> y llega a la meta con rapidez de 30 m/s.

- ¿Qué rapidez llevará cuando se encuentre a 50 m de la salida?
- ¿Qué distancia recorre desde la salida a la meta?
- ¿Cuál ha sido la rapidez media en su recorrido?

P

**A.10.-** a) Escribe las ecuaciones de un mue si sabemos que parte del reposo y que cuando el cronómetro marca 2,00 s se encuentra en la posición 18,0 m, y que cuando marca 4,00 s se encuentra en la posición 36,0 m.

b) Calcula la rapidez media en ese intervalo de tiempo así como las rapidezces en los instantes 2,00 y 4,00 s.

P

**A.11.-** Calcula la distancia mínima necesaria para detener un coche suponiendo que desde el momento en que se ve el obstáculo hasta que se pisa el freno transcurren 0,5 s (tiempo de reacción) y que la aceleración máxima de frenado es de 5 m/s<sup>2</sup>. Hazlo para cuando la rapidez inicial del coche sea 50 km/h, 100 km/h y 150 km/h. Compara esas distancias con la longitud de la clase.

La rapidez influye mucho en la distancia necesaria para detener un vehículo: cuando se duplica, la distancia necesaria para frenar se hace cuatro veces mayor.

Además hay que tener en cuenta el llamado **tiempo de reacción** que es el que tarda cada persona en reaccionar desde que ve un obstáculo hasta que comienza a frenar.



### 3.4

Dos simulaciones que proporcionan el tiempo de reacción o la distancia necesaria para frenar ante un estímulo visual.

**P** **A.12.-** Un conductor percibe un obstáculo y frena para no chocar con él. ¿Podrá hacerlo? Estudia la situación y discute las distintas posibilidades.

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

**P** **1.** Una piedra de 2 kg cae libremente. a) Calcula la distancia que recorre en los tres primeros segundos.  
b) Si en los tres primeros segundos recorre 44,1 m, ¿qué distancia recorrerá en los seis primeros segundos?  
c) Para que llegue con una rapidez de 40 m/s al suelo, ¿desde qué altura debe caer? ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ).  
a)  $d_3 = 44,1 \text{ m}$ ; b)  $d_6 = 176,4 \text{ m}$ ; c)  $h = 81,6 \text{ m}$

**P** **2.** En 10 s un coche alcanza una rapidez de 108 km/h partiendo del reposo.  
a) Calcula la aceleración en ese intervalo.  
b) Calcula la distancia que recorre en el primer minuto si mantiene la rapidez constante a partir de los 10 s.  
a)  $a = 3 \text{ m/s}^2$ ; b)  $d = 1650 \text{ m}$

**P** **3.** Se lanza una piedra verticalmente hacia arriba con una rapidez de 200 m/s. Toma  $10 \text{ m/s}^2$  como valor para la aceleración de la gravedad.  
a) ¿Cuánto tardará en llegar a la máxima altura? ¿Qué altura máxima alcanzará?  
b) ¿Cuánto tiempo tardará en llegar a la mitad de la altura máxima? ¿Qué rapidez tendrá en ese momento?  
c) Calcula la posición y rapidez a los 15 s y a los 30 s de iniciado el movimiento. Interpreta el significado de los valores obtenidos.  
a)  $t = 20 \text{ s}$ ;  $h = 2000 \text{ m}$ ; b)  $t = 5,86 \text{ s}$ ;  $v = 142 \text{ m/s}$ ; c)  $h_{15} = 1875 \text{ m}$ ;  $h_{30} = 1500 \text{ m}$ ;  $v_{15} = 50 \text{ m/s}$ ;  $v_{30} = -100 \text{ m/s}$

**P** **4.** Un móvil se encuentra en un instante en la parte negativa de la trayectoria a 40 m del punto de referencia y se dirige hacia él con una rapidez de 32 m/s. Comienza a frenar en ese instante con una aceleración de  $0,5 \text{ m/s}^2$ .  
a) Calcula el instante en el que el móvil tiene rapidez nula.  
b) Calcula la distancia recorrida en los primeros veinte segundos.  
a)  $t = 64 \text{ s}$ ; b) 540 m

**5.** a) En un movimiento uniformemente acelerado, en el que disminuye la rapidez, ¿podemos decir que la aceleración tangencial es siempre negativa? Explica tu respuesta.  
b) Medimos la distancia recorrida por dos móviles en movimientos uniformemente acelerados. En el primero se recorrieron 100 m en 2 s; en el segundo se recorrieron 150 m en 2 s. ¿Podemos afirmar, con esos datos, en cuál de ellos es mayor la aceleración? Explica la respuesta.  
a) No; b) No

## Situaciones en las que participan dos móviles

Cuando analizamos situaciones con más de un móvil puede escogerse un punto de referencia y un criterio de signos común para todos y escribir la ecuación del movimiento de cada uno de ellos referida al mismo sistema de referencia. Eso permite resolver situaciones más complejas que las estudiadas hasta ahora.

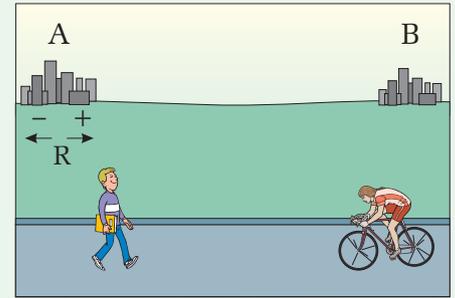
## EJEMPLO

**P** Dos amigos, que viven en dos ciudades separadas 10 km, quieren verse. El chico sale andando de la ciudad A a las 10 h 30 m con rapidez de 5 m/s. La chica, que va en bici con rapidez de 10 m/s, sale de la ciudad B a las 10 h 45 m.  
a) ¿A qué hora y en qué lugar se encontrarán?  
b) ¿Qué distancia habrá recorrido cada uno?

En primer lugar, hacemos un dibujo que permita visualizar la situación descrita. Escogemos un punto de referencia (R) y un criterio de signos común para la descripción de ambos movimientos y lo situamos en el dibujo.

Después escribimos las ecuaciones  $e/t$  y  $v/t$  de ambos móviles referidas a esa referencia y con ese criterio de signos.

$$\text{móvil A} \begin{cases} e_A = 0 + 5 t_A + \frac{1}{2} 0 t_A^2 \\ v_A = 5 + 0 t_A \end{cases} \quad \text{móvil B} \begin{cases} e_B = 10000 - 10 t_B + \frac{1}{2} 0 t_B^2 \\ v_B = -10 + 0 t_B \end{cases}$$



Debemos tener en cuenta que si pusimos en marcha el cronómetro cuando sale el chico de la ciudad A, la chica que sale de la ciudad B lleva 15 minutos (900 s) de retraso. Lo podemos expresar con la condición:

$$t_A = t_B + 900$$

Sustituyendo en las ecuaciones del movimiento de ambos móviles y simplificando podemos escribir:

$$\text{móvil A} \begin{cases} e_A = 5 t_B + 4500 \\ v_A = 5 \end{cases} \quad \text{móvil B} \begin{cases} e_B = 10000 - 10 t_B \\ v_B = -10 \end{cases}$$

Ahora traducimos las preguntas a condiciones matemáticas. La pregunta «¿cuándo se encuentran?» equivale a decir ¿cuándo  $e_A = e_B$ ?

Eso permite plantear la ecuación:  $5 t_B + 4500 = 10000 - 10 t_B$  y calcular el instante en que coinciden ambos amigos:  $t_B = 366,7$  s.

«¿Dónde se encuentran?» equivale a ¿cuál es  $e_A$  o  $e_B$  cuando se encuentran? Sustituyendo  $e_A = e_B = 6334$  m.

Ahora debemos «traducir» ese resultado al lenguaje descriptivo habitual: los amigos se encuentran 6 min y 6,7 s después de que empezara su movimiento la ciclista. Eso supone 21 min y 6,7 s después de que empezara su movimiento el chico. La hora sería: 10 h 51 min 6,7 s, y lógicamente es la misma para ambos amigos.

Se encontrarían a 6334 m de la ciudad A. La distancia recorrida por el chico sería exactamente de 6334 m, mientras que la recorrida por la chica sería de 3666 m.

P

**A.13.-** Dos trenes se mueven acercándose uno al otro sobre la misma vía. La rapidez de uno es de 30 m/s, mientras que la del otro es de 20 m/s. Los trenes comienzan a frenar con aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$  cuando la distancia entre ambos es de 1 km. ¿Chocarán o no? ¿Dónde quedará cada tren?

P

**A.14.-** Un automóvil que se encuentra parado, arranca con una aceleración de  $1,8 \text{ m/s}^2$ . En el mismo instante que arranca el automóvil, un camión que lleva una rapidez constante de 9 m/s alcanza y pasa al automóvil.

- ¿A qué distancia del punto de partida alcanza el automóvil al camión?
- ¿Qué rapidez tiene el automóvil al alcanzar al camión?
- ¿En qué momento llevan ambos la misma rapidez?
- ¿A qué distancia está uno del otro en ese momento?



3.5

Hacer clic en «Entrar» y luego en «Persecuciones y encuentros». Se pueden hacer los ejercicios que se incluyen en ese apartado.

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

P

1. Un tren circula a 72 km/h. A 2 km de una estación se suelta el último vagón que termina por detenerse justamente en la estación. En ese instante, ¿dónde se encuentra el tren si sigue con rapidez constante de 72 km/h?

2 km después de la estación

P

2. El maquinista de un tren A que circula a 108 km/h ve que en la estación se encuentra otro tren B, que está parado. El maquinista del tren A frena con aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$ , mientras que el maquinista del tren B arranca, para alejarse del primero, con aceleración de  $0,2 \text{ m/s}^2$ . Teniendo en cuenta que el primero empieza a frenar y el segundo empieza a moverse cuando la distancia entre ambos trenes es de 315 m, calcula si chocarán ambos trenes. En caso de que choquen, calcula la distancia recorrida por cada uno antes del choque.

Sí chocan;  $d_A = 337,5$  m;  $d_B = 22,5$  m

# 2

## MAGNITUDES VECTORIALES

Existen magnitudes físicas cuyo valor queda perfectamente definido al dar un número y la unidad que se ha usado para medirlas. Reciben el nombre de **magnitudes escalares**. Si decimos que la temperatura de la clase es 20 °C, dejamos claro la medida del valor de la magnitud escalar temperatura. Las **magnitudes vectoriales** necesitan una descripción más completa; para que estén bien definidas es necesario conocer, además del valor, su dirección y sentido. Si sabemos que sobre un cuerpo actúa una fuerza de 400 N es necesario conocer la dirección y sentido de la misma para saber el efecto que producirá. Las magnitudes vectoriales se representan mediante vectores. El álgebra vectorial, es decir, las operaciones que se pueden realizar con los vectores, es diferente al álgebra escalar, lo que debe ser tenido en cuenta cada vez que haya que sumar, restar o multiplicar vectores. Para diferenciar las magnitudes vectoriales de las escalares, en las ecuaciones pondremos las vectoriales en **negrita**.

P

**A.15.-** Indica ejemplos de magnitudes escalares y vectoriales.

### 2.1 La velocidad es una magnitud vectorial

Para saber cómo se está moviendo un cuerpo necesitamos conocer además de su rapidez, la dirección y sentido del movimiento en cada momento.

La **velocidad** es una magnitud vectorial. Se representa por un vector cuyo módulo es el valor absoluto de la rapidez, su dirección la de la tangente a la trayectoria, y su sentido el del avance del movimiento.

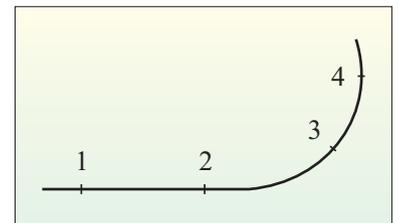
En el lenguaje diario la palabra **velocidad** se refiere sólo a lo que en física llamamos **rapidez**. No es frecuente indicar el carácter vectorial, pero cuando se quiere describir con mayor precisión el movimiento, se debe dar junto con la distancia recorrida en la unidad de tiempo, la dirección y sentido de ese movimiento. Toda esa información sólo la proporciona el vector velocidad.



En una curva cambia la dirección de la velocidad del coche.

**A.16.-** La figura representa parte de la trayectoria recorrida por un cuerpo. La rapidez en el punto 1 es 20 m/s mientras que en los puntos 2, 3 y 4 es 15 m/s.

- a) Dibuja en tu cuaderno los vectores que representan la velocidad en cada punto.  
b) De los cuatro puntos señalados, ¿hay dos en los que ese cuerpo tiene la misma velocidad?, ¿en cuáles?



### 2.2 La aceleración también es vectorial

La aceleración informa de la rapidez con la que cambia la velocidad. Para calcular la aceleración media en un intervalo de tiempo, se utiliza la expresión:

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_i}{t_f - t_i}$$

P

La aceleración es una magnitud vectorial pues, de acuerdo con la definición, es un cociente entre una magnitud vectorial y una magnitud escalar. Definida de esta manera, la aceleración informa tanto del cambio de módulo de la velocidad (es decir, del cambio de rapidez) como del cambio de dirección.

Para calcular la aceleración es necesario restar dos vectores. Para facilitar su estudio analizaremos dos situaciones extremas; en la primera supondremos que existe cambio de rapidez sin que cambie de dirección (movimiento rectilíneo). En la otra situación supondremos que no hay cambio de rapidez y sólo hay cambio de dirección, como es el caso de un movimiento curvilíneo uniforme. Las estudiaremos por separado para, a continuación, suponer que se presentan conjuntamente.

### Movimiento rectilíneo: aceleración tangencial

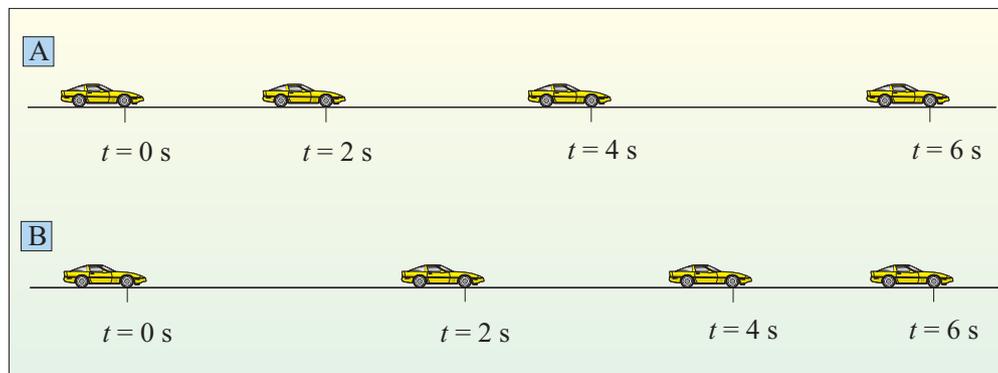
Cuando la trayectoria es rectilínea no hay cambios en la dirección del movimiento, sólo puede haber cambios en la rapidez. En este caso, la aceleración recibe el nombre de **aceleración tangencial**,  $a_t$ . El **módulo** de la aceleración tangencial informa de los **cambios que ocurren en la rapidez en cada unidad de tiempo**. Su **dirección es tangente a la trayectoria**, es decir, la misma que la de la velocidad, y su **sentido** puede ser **el mismo o el contrario al de la velocidad**, según haya aumento o disminución del valor absoluto de la rapidez.

$$a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t} \tau$$

$\tau$  es un vector unitario cuya dirección es tangente a la trayectoria y sentido el del movimiento.

P

**A.17.-** a) La rapidez inicial de un móvil es 10 m/s y aumenta uniformemente de manera que 6 s después es 22 m/s. Si sabemos que la trayectoria es rectilínea, dibuja la velocidad en el instante inicial y a los 2, 4 y 6 s después de comenzar a contar el tiempo. Calcula la aceleración tangencial en cada uno de los intervalos temporales anteriores. Representa en una figura, como la siguiente, los vectores aceleración tangencial anteriores.



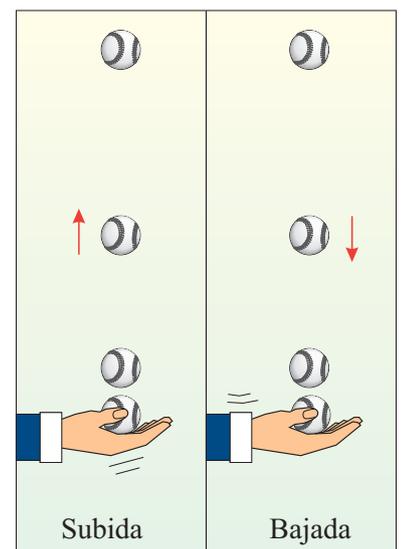
b) Repite el ejercicio anterior suponiendo que se trata de un móvil cuya rapidez inicial es 22 m/s y que la rapidez a los 6 segundos es 10 m/s.

P

**A.18.-** Lanzamos una pelota verticalmente y la recogemos al caer. Podemos diferenciar las tres etapas siguientes:

Etapas a) Mientras la empujamos. En este caso, en 0,3 s pasa de estar en reposo a moverse a 24 m/s. Dibuja los vectores velocidad para  $t = 0$  y  $t = 0,3$  s. Dibuja y calcula la aceleración tangencial en ese intervalo (supuesta constante).

Etapas b) Mientras sube y baja sin estar en contacto con la mano. Dibuja los vectores velocidad al empezar a subir, 1,5 s después, en el punto más alto de la trayectoria y 3,0 s después de haber empezado a subir. Dibuja también el vector aceleración tangencial en esos instantes.



Etapa c) Cuando la recogemos al caer. En 0,2 s pasa de 24 m/s a estar en reposo. Dibuja los vectores velocidad al principio y final de esta etapa, así como el vector aceleración tangencial en cualquier instante de esa etapa, suponiendo que el movimiento ha sido uniformemente acelerado.

### Movimiento curvilíneo uniforme: aceleración normal

Cuando un cuerpo realiza un movimiento con trayectoria curvilínea, aunque lo haga con rapidez constante, existirá siempre aceleración, pues está cambiando continuamente la dirección de la velocidad y eso supone que está cambiando continuamente la velocidad.

En la figura 1 se representa un tramo de la trayectoria circular recorrida por un móvil al que suponemos rapidez constante. Aunque la rapidez sea constante, los vectores velocidad en dos instantes sucesivos,  $v_1$  y  $v_2$  son diferentes, pues si bien tienen el mismo módulo tienen direcciones diferentes.

En la figura 2 se representa la variación del vector velocidad entre dos instantes próximos. Para ello, se calcula gráficamente la diferencia  $v_2 - v_1$  lo que se hace sumando a  $v_2$  el vector opuesto de  $v_1$ . Según la definición, la dirección de la aceleración es la misma que la dirección del vector variación de velocidad. Por lo tanto, tal como podemos observar de manera aproximada en la figura 2, el vector aceleración está dirigido hacia el centro de la trayectoria. Esta aceleración recibe el nombre de **aceleración centrípeta**. También podemos decir que el vector aceleración es perpendicular (o normal) a la tangente a la trayectoria; por eso también se le denomina **aceleración normal**.

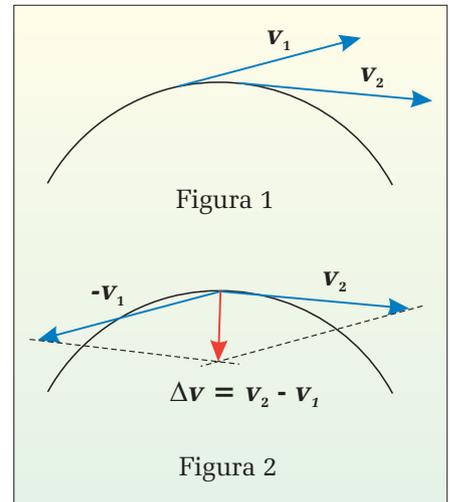
El dibujo anterior no es una demostración rigurosa, para la que no disponemos aún de conocimientos matemáticos suficientes.

Puede demostrarse que el valor de la aceleración normal depende directamente del cuadrado de la rapidez e inversamente del radio de la trayectoria. Si representamos con  $n$  la dirección del vector unitario en la dirección del radio y sentido hacia el centro de la trayectoria, se puede escribir:

$$a_n = \frac{v^2}{r} n$$

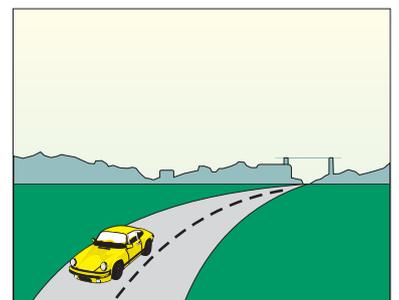
La expresión anterior indica que la aceleración normal es mayor cuanto mayor sea la rapidez (además crece con el cuadrado de la rapidez) y también crece cuando la curva es más cerrada (es decir, en aquellas curvas cuyo radio es menor).

**A.19.-** a) Calcula la aceleración centrípeta de un coche de 800 kg cuando toma una curva de radio 200 m con una rapidez de 15 m/s y cuando lo hace a 30 m/s.  
b) Dibuja hacia dónde estaría dirigida esa aceleración normal.  
c) ¿Cuál sería la aceleración normal en los casos anteriores si el radio de la curva fuese 100 m?



#### ATENCIÓN

La aceleración normal será constante cuando la trayectoria sea circular y la rapidez constante.



### Movimiento curvilíneo no uniforme: aceleración total

En un movimiento cualquiera puede que la trayectoria sea curvilínea y que, además, haya cambio de rapidez. El cambio del vector velocidad en la unidad de tiempo es lo que llamamos **aceleración**.

Podemos considerar a la aceleración total como suma de dos vectores, uno que nos informará de la variación de la rapidez y otro que nos indicará la variación de la dirección. Así:

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n$$

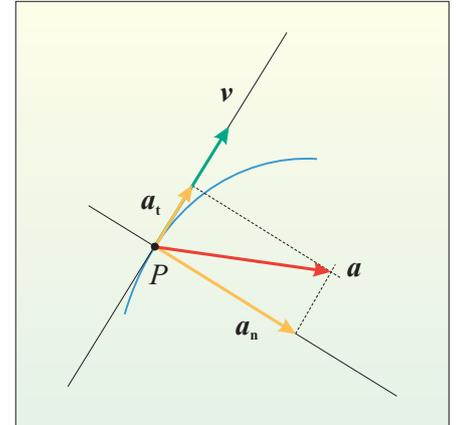
**$\mathbf{a}$ : aceleración total**, informa de todos los cambios que ocurren en el vector velocidad.

**$\mathbf{a}_t$ : aceleración tangencial**, informa de los cambios que ocurren en la rapidez. Su dirección es tangente a la trayectoria, es decir, la misma que la de la velocidad, y su sentido puede ser el mismo o el contrario del de la velocidad, según haya un aumento o disminución del valor absoluto de la rapidez.

**$\mathbf{a}_n$ : aceleración centrípeta o normal**, informa de los cambios que ocurren en la dirección de la velocidad. Su dirección es perpendicular a la tangente a la trayectoria.

La aceleración normal y la aceleración tangencial son siempre perpendiculares por lo que el módulo de la aceleración total se puede calcular con la expresión:

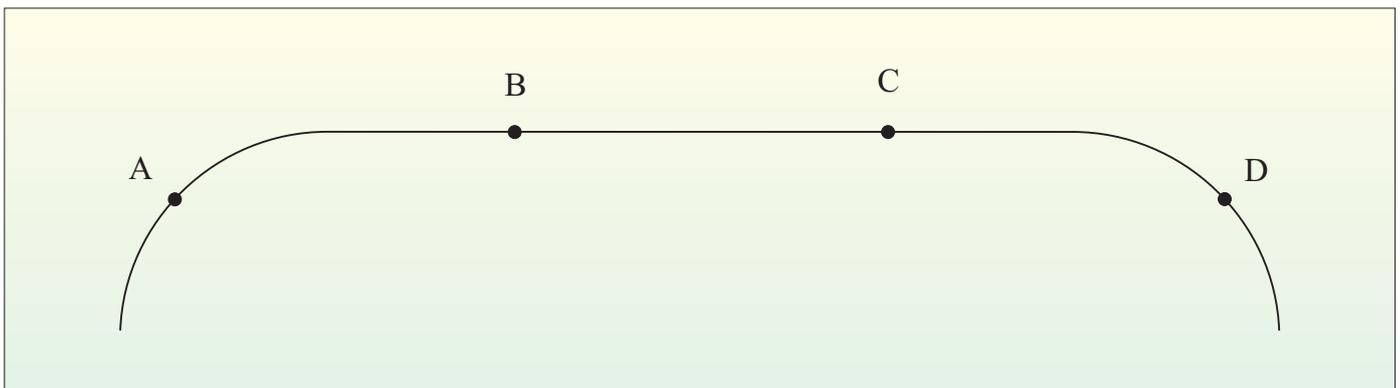
$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$



**A.20.-** El dibujo representa la trayectoria de un coche de juguete que se mueve desde A hacia D. Las curvas tienen un metro de diámetro.

a) Representa la velocidad en cada punto si la rapidez es de 1 m/s en el punto A, de 2 m/s en el punto B, de 3 m/s en el punto C y de 2 m/s en el punto D.

b) En otro dibujo representa la aceleración tangencial, la aceleración normal y la aceleración total en cada punto. Sabemos que en A y en B la rapidez aumenta 1 m/s en cada segundo y que en C y en D disminuye 1 m/s en cada segundo.



### 3

## EL MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME

Cuando la trayectoria recorrida por el centro de masas de un sistema es una circunferencia, o un arco de circunferencia, decimos que el movimiento es circular. Si además, mantiene constante su rapidez lo llamamos **movimiento circular uniforme** (mou). Ejemplos de estos movimientos son los descritos por los tiovivos, las agujas de un reloj, por un punto de la Tierra cuando ésta gira alrededor de su eje o por un punto de la Luna en su giro alrededor de la Tierra.

## Magnitudes angulares

Para describir un movimiento circular podemos usar además de las magnitudes lineales que ya conocemos (posición, rapidez, velocidad), otras que simplifican su estudio: las magnitudes angulares.

En la figura se representa un movimiento circular. El punto de referencia se ha escogido en O. En un instante  $t_1$  el móvil está en la posición  $e_1$  y en un instante posterior  $t_2$ , ocupa la posición  $e_2$ . La distancia recorrida será igual a la diferencia de posiciones:  $\Delta e = e_2 - e_1$ . (Si no ha dado más de una vuelta).

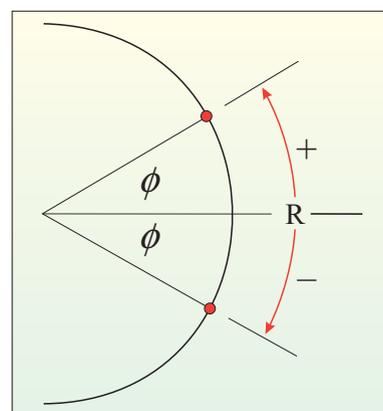
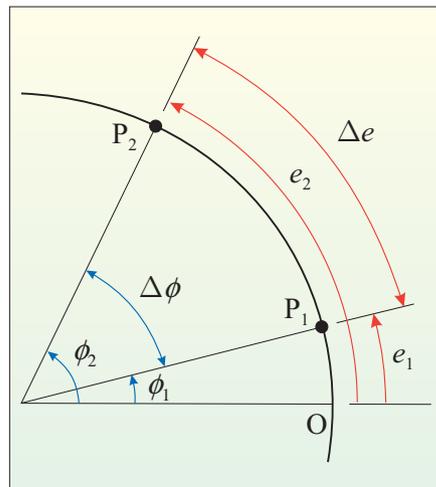
Otra forma de describir el movimiento anterior, conocido el radio, sería dar el ángulo  $\phi_1$  para la posición 1, y el ángulo  $\phi_2$  para la posición 2. Así, el ángulo barrido desde el instante  $t_1$  hasta el instante  $t_2$  será:  $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ .

Igual que  $v$  mide la rapidez de cambio de la posición, podemos definir la **rapidez angular**,  $\omega$ , que medirá la rapidez de cambio de la posición angular:

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Esta sería la rapidez angular media, o la que corresponde a un movimiento uniforme en el que la rapidez se mantiene constante.

Una trayectoria circular se puede recorrer en dos sentidos; es frecuente decir que se ha recorrido en el mismo sentido o en sentido contrario al de las agujas del reloj. Como en el caso de la rapidez lineal se establece un **criterio de signos** para identificar en qué sentido se recorre la trayectoria. Generalmente se considera positivo el sentido contrario al de las agujas del reloj y negativo el sentido que coincide con el de las agujas del reloj.



## El radián, una unidad para medir ángulos

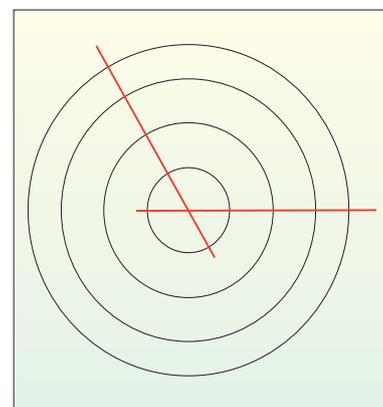
La posición o el desplazamiento angular se pueden medir en grados, pero en el SI se utiliza otra unidad: el radián, que facilita las relaciones entre las magnitudes angulares ( $\phi$ ,  $\Delta\phi$ ,  $\omega$ ) y las lineales ( $e$ ,  $\Delta e$ ,  $v$ ).

**A.21.-** Mide la longitud del arco que delimitan en cada circunferencia las dos líneas que se cortan. Calcula el cociente entre la longitud del arco y el radio para cada circunferencia. ¿Depende ese cociente del radio de la circunferencia?, ¿depende de alguna otra magnitud?

Se comprueba que el cociente entre la longitud del arco,  $l$ , y el radio de la circunferencia,  $r$ , a la que pertenece ese arco es constante y que sólo depende del ángulo,  $\phi$ . Eso lo podemos expresar de la siguiente forma.

$$\frac{l}{r} = cte = \phi$$

Podemos aprovechar esa propiedad y utilizar  $l/r$  como medida de los ángulos. Para que el cociente anterior sea igual a la unidad, debe cumplirse que  $l = r$ . El ángulo que cumple la condición anterior decimos que mide **un radián**.

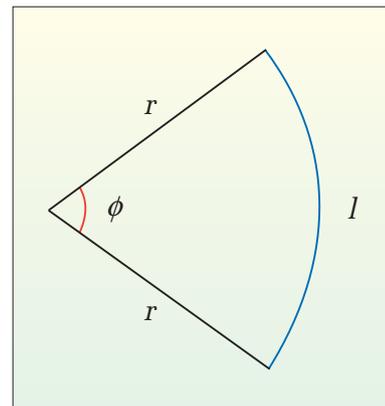


El **radián** (rad) es el ángulo central al que le corresponde un arco cuya longitud es igual al radio.

Si el arco nos mide el desplazamiento lineal  $\Delta e$  y el ángulo el desplazamiento angular correspondiente  $\Delta\phi$ , podemos escribir:

$$\Delta e = \Delta\phi r$$

El valor del ángulo se debe expresar en radianes.



**A.22.-** Teniendo en cuenta que una vuelta completa corresponde a un ángulo de  $360^\circ$ , y que la longitud de la circunferencia es  $2\pi r$ :

- ¿Cuál es la equivalencia en grados de un radián?
- Calcula a cuántos grados corresponden ángulos de  $0$ ,  $\pi/4$ ,  $\pi$  radianes.
- ¿Cuántos radianes miden ángulos de  $30$ ,  $60$ ,  $90$ ,  $270$  y  $360$  grados?

**A.23.-** a) Dos atletas corren por una pista circular; la «calle» interior tiene un radio de  $60$  m, mientras que una «calle» exterior tiene un radio de  $70$  m. Calcula la longitud recorrida por cada uno cuando hayan dado una vuelta completa.

b) Las carreras de  $200$  metros los atletas la hacen completas por sus calles respectivas. El atleta que sale por una calle exterior lo hace «adelantado» respecto al que lo hace por una calle interior. Explica la razón de esta circunstancia.



La unidad de rapidez angular en el SI es el radián en cada segundo, cuyo símbolo es rad/s, también expresado como  $s^{-1}$ . Otra unidad (no es del SI) que se utiliza bastante son las vueltas/minuto también llamadas revoluciones por minuto (rpm), que como indica su nombre se refiere al número de vueltas que se recorren en cada minuto.

**A.24.-** a) El disco de una máquina pulidora da  $2000$  rpm. Calcula su rapidez angular,  $\omega$ , en unidades del SI.

b) Un disco de  $8,7$  cm de radio gira a  $45$  rpm en un tocadiscos. ¿Qué ángulo barre y qué distancia recorre un punto de su periferia durante  $5$  s?, ¿y un punto que está a  $4$  cm del eje? ¿Cómo serían las rapidezces angulares de ambos puntos?



## Relación entre la rapidez lineal y la angular

Si suponemos que dos atletas que corren en una pista circular dan una vuelta a la pista en el mismo tiempo, está claro que ambos tienen la misma rapidez angular (han recorrido el mismo ángulo en el mismo tiempo), pero el que va por la calle exterior ha debido llevar mayor rapidez lineal (ha recorrido más distancia en el mismo tiempo). Así, para cuerpos que tienen la misma rapidez angular, tiene más rapidez lineal aquel que recorre una trayectoria cuyo radio es mayor.

Para obtener la relación entre la rapidez lineal y la angular basta con dividir por  $\Delta t$  los dos miembros de la expresión:  $\Delta e = \Delta\phi r$ .

$$\frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} r \Rightarrow v = \omega r$$



### 3.6

Hacer clic en entrar. Puedes hacer los ejercicios que se incluyen en el apartado «Movimiento circular».

#### ATENCIÓN

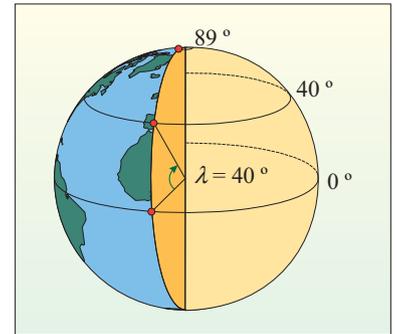
La ecuación sólo es aplicable si la trayectoria es circular. Además, la unidad de la velocidad angular debe ser radianes en cada segundo.

Así pues, podemos estudiar indistintamente el movimiento circular uniforme con las magnitudes lineales o con las angulares, aunque estas últimas facilitan los cálculos. Para pasar de unas a otras basta con multiplicar o dividir por el valor del radio, según sea el caso.

**A.25.-** La Tierra gira sobre su propio eje.

a) Calcula la rapidez angular del planeta Tierra en ese movimiento. ¿Es la misma la de un punto que esté en el Ecuador, la de un punto que esté en España, (latitud aproximada  $40^\circ$ ), y la de un punto cercano al polo Norte (de latitud  $89^\circ$ )?

b) ¿Tendrá la misma rapidez lineal un punto del Ecuador, un punto de España y un punto del polo Norte? Explica la respuesta. En caso de que no lo sea, calcula la rapidez en cada uno de esos puntos. (El radio medio de la Tierra es 6370 km).

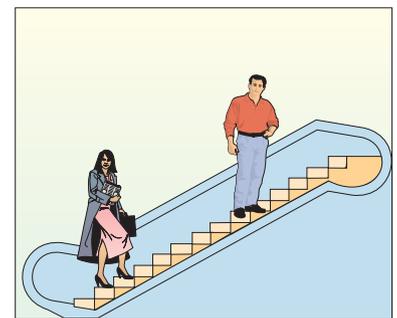


# 4

## COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTOS

En las escaleras mecánicas observamos a personas que caminan sobre ellas acercándose a las que se mantienen «quietas» respecto a la escalera. Aunque la persona que anda sobre la escalera tiene un único movimiento, éste es producido por la combinación de dos movimientos diferentes, el de la escalera y el de la persona respecto a la escalera.

El desplazamiento total de la persona será la suma del desplazamiento de la escalera y del que haya hecho la persona sobre la misma. De igual modo, la velocidad y aceleración de la persona serán la suma vectorial de las velocidades y aceleraciones de la escalera y de la persona respecto a la escalera.



**A.26.-** Una persona nada en un río, ¿es posible que en lugar de avanzar, retroceda?

En muchas ocasiones podemos analizar un movimiento como el resultado de dos movimientos diferentes, cada uno de los cuales es considerado independiente del otro. En realidad el movimiento observado es único, así vemos moverse a la persona que está subida en la escalera o a la que está nadando, pero puede ser considerado como la «suma» de dos movimientos independientes. Galileo fue el primero en interpretar de esta manera los movimientos de los proyectiles, problema importante a finales del siglo XVI y principios del XVII, tanto por sus implicaciones prácticas (el cálculo de la trayectoria de los proyectiles de la artillería), como por haber sido una piedra angular en el estudio del movimiento. Aportó lo que se conoce, en su honor, como **principio de independencia** (o de superposición) **de los movimientos de Galileo**, que se puede expresar en términos actuales como sigue:

El movimiento resultante de móvil sometido simultáneamente a varios movimientos elementales, se obtiene al sumar vectorialmente los movimientos componentes, como si éstos ocurrieran por separado.

Esto quiere decir que:

- \* El desplazamiento es la suma vectorial de los desplazamientos componentes.
- \* La velocidad es la suma vectorial de las velocidades componentes.
- \* La aceleración es la suma vectorial de las aceleraciones componentes.



### 3.7

Hacer clic en «Entrar», luego en «Cinemática». Se pueden hacer los ejercicios que se incluyen en los apartados Movimiento relativo, MRU perpendiculares y Tiro parabólico.



### 3.8

En la primera se puede utilizar la simulación para representar el movimiento de un barco que cruza un río.

En la segunda, hacer clic sucesivamente en «Applet menú», «Kinematics» y «Boat and River». La animación simula el movimiento de un barco que cruza un río. Se puede modificar la velocidad del agua del río, del barco y de la dirección de la proa del barco.

## EJEMPLO

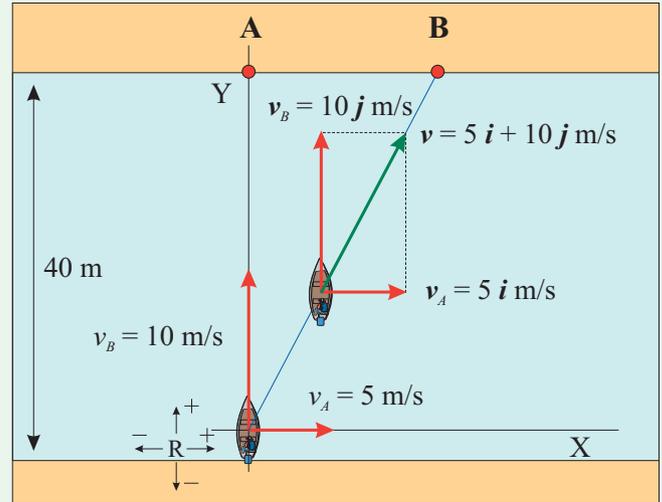
Una barca, que en un lago en calma puede desplazarse con una rapidez de 10 m/s, atraviesa un río de 40 m de ancho por una zona donde la corriente de agua tiene una rapidez de 5 m/s. Si se pone la proa de la barca en dirección perpendicular al río:

- ¿Depende el tiempo que tarda en llegar a la otra orilla de la rapidez del agua del río? Explica la respuesta.
- ¿En qué punto de la orilla opuesta atraca?
- Calcula la velocidad total de la barca y la distancia recorrida por ella.  
Haz un dibujo que represente el desplazamiento de la barca.

a) El dibujo representa la situación. Hemos tomado como eje X la dirección de la corriente de agua, y como eje Y, la perpendicular al río. Si el agua no se moviera, la barca atraca- ría justo enfrente de donde salió. La ecuación de tal movi- miento uniforme es:  $y = 10 t$ . Como el río tiene una anchura de 40 m, tardaría en cruzarlo:

$$40 = 10 t ; \quad t = \frac{40}{10} = 4 \text{ s}$$

Si el agua se mueve arrastrará a la barca, en este caso hacia la derecha, por lo que atraca en el punto B en lugar del A, pero **el tiempo que tarda es el mismo**. Lo que sí aumenta es la distancia que recorre, pero también aumenta proporcionalmente su velocidad. Sería la suma de la veloci- dad propia de la barca más la del agua que la arrastra hacia la posición B, tal como muestra el dibujo. La ecuación del movi- miento del agua que coincide con el arrastre lateral de la barca, será:  $x = 5 t$ .



De esta forma, descomponemos el movimiento real de la barca en dos movimientos componentes según los ejes x e y. La suma de ambos nos da el movimiento real.

$$\text{Ecuaciones del movimiento: } \begin{cases} x = 5 t \\ y = 10 t \end{cases} \quad \begin{cases} v_x = 5 \\ v_y = 10 \end{cases}$$

- b) Puesto que tarda 4 s en llegar a la orilla opuesta en la posición B, el arrastre del agua será:

$$x = 5 \cdot 4 = 20 \text{ m}$$

Por tanto, las coordenadas del punto de atraque serán (20,40).

- c) La velocidad será en todo momento la suma de la velocidad de la barca si el agua estuviese quieta,  $v_y$  y la del agua,  $v_x$ :

$$\mathbf{v} = 5 \mathbf{i} + 10 \mathbf{j} \text{ m/s}$$

$\mathbf{i}$  y  $\mathbf{j}$  representan los vectores unitarios en las direcciones del eje x y del eje y, respectivamente.

La rapidez de la barca vale:

$$v = \sqrt{5^2 + 10^2} = 11,18 \text{ m/s}$$

La distancia recorrida por la barca será:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{20^2 + 40^2} = 44,72 \text{ m}$$

P

**A.27.-** Desde una misma altura caen dos bolas; una de ellas, simplemente la dejamos caer, mientras que a la otra la lanzamos con una cierta velocidad horizontal. ¿Cuál de las dos tardará más tiempo en llegar al suelo? ¿Cuál recorrerá una distancia mayor? Explica tus respuestas.

AC

V

P

**A.28.-** Imagínate que desde lo alto de una torre de 40 m disparamos un fusil que mantenemos sujeto horizontalmente. La bala sale del fusil con una rapidez de 500 m/s.

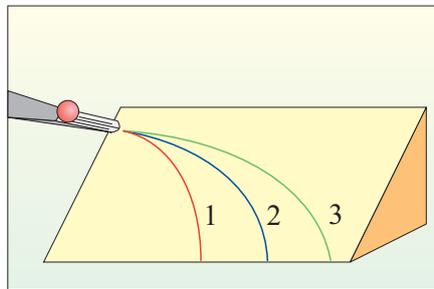
- Dibuja la trayectoria que sigue la bala suponiendo que no hay rozamiento con el aire. ¿Bajará la bala al principio, nada más salir del fusil? ¿Por qué?
- Calcula a qué distancia de la base de la torre caerá la bala al suelo.
- ¿Afectaría al movimiento de la bala el rozamiento con el aire? ¿Sería mayor o menor el tiempo de caída? ¿Sería mayor o menor el alcance?

La trayectoria que sigue la bala es una parábola (si no se tiene en cuenta el rozamiento con el aire). Aunque otros científicos lo habían dicho antes, fue Galileo el primero que lo demostró matemáticamente. Si colocamos el punto de referencia en el punto desde el que se lanza la bala y tomamos sentido positivo hacia la derecha y hacia abajo, podemos escribir las siguientes ecuaciones del movimiento, en las que  $x$  representa la posición horizontal e  $y$  representa la posición vertical:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_h \cdot t \\ y &= \frac{1}{2} g \cdot t^2 \end{aligned} \right\} \text{despejando: } t = \frac{x}{v_h}; \text{ sustituyendo: } y = \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{v_h} \right)^2;$$

$$\text{y si hacemos } k = \frac{g}{2v_h^2} \text{ nos queda: } y = kx^2$$

La ecuación  $y = kx^2$  corresponde a la de una parábola. El valor de  $k$  depende de  $g$  (aceleración de caída libre) y de la velocidad horizontal con la que se lanzó el proyectil y determina si la parábola es más abierta o más cerrada.

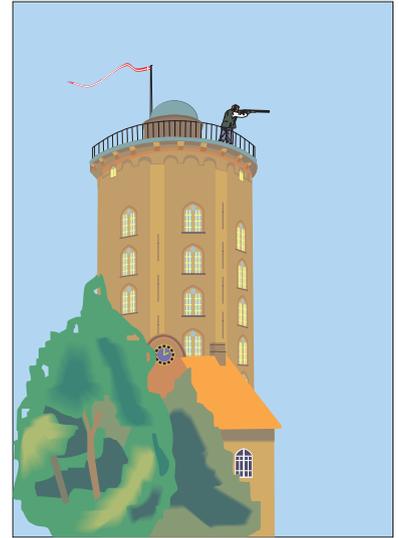


En la figura se puede ver el sistema propuesto por Galileo para comprobar si sus predicciones eran correctas. Se trataba de un plano inclinado sobre el que se dejaba caer una bola con mayor o menor velocidad, según la posición desde la que se dejase caer. Si la bola está cubierta de pintura marcará una línea sobre la superficie del plano, línea que se puede comprobar coincide con una parábola.

P

**A.29.-** a) Una bola se desliza sobre una mesa sin rozamiento (a 1 m de altura sobre el suelo) con rapidez de 3 m/s. Dibuja la velocidad horizontal, la velocidad vertical y la velocidad total de la bola en tres puntos:

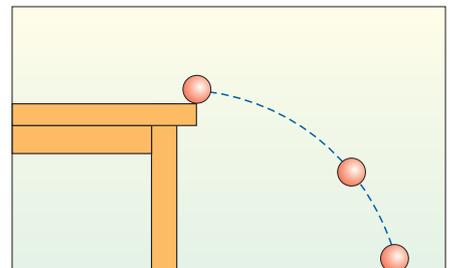
- Justo al abandonar la mesa, 2) cuando ha bajado medio metro, 3) justo antes de llegar al suelo.
- Repite el ejercicio suponiendo que la rapidez sobre la mesa era 6 m/s. Haz el dibujo utilizando la misma escala.
- ¿Hay aceleración tangencial y normal en ese movimiento? En caso afirmativo, dibújalas en el punto que está a medio metro del suelo.



### 3.9

La primera dirección permite simular el lanzamiento de proyectiles sea horizontal u oblicuo. Puede modificarse la altura desde la que se lanza, la velocidad inicial y el ángulo de lanzamiento. Representa las componentes de la velocidad en cada instante y calcula el alcance máximo y el tiempo de vuelo del proyectil.

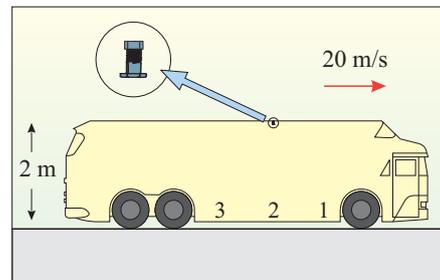
En la segunda dirección se trata del disparo de una pistola. Se mantiene fija la velocidad de salida de la bala, pero se puede cambiar la inclinación y la altura desde la que se lanza.



P

**A.30.-** Un autobús circula en línea recta con rapidez de 20 m/s. Un tornillo que está sujeto al techo se suelta y cae.

- ¿En cuál de las tres posiciones caería el tornillo? Explica la respuesta.
- ¿La distancia recorrida por el tornillo en su caída sería más, igual o menos de 2 metros?
- ¿El tiempo que tarda en caer el tornillo con el autobús parado es mayor, menor o igual que el tiempo que tarda en caer cuando el autobús está en movimiento?



Las partes de un móvil que se mueven solidariamente con él llevan la misma velocidad. Así, en el ejemplo anterior, el tornillo se mueve con la misma velocidad que el conjunto del móvil. Cuando alguna parte se independiza del móvil, sigue moviéndose en línea recta, con la misma rapidez que llevaba al estar sujeto al móvil. También fue Galileo el primero en argumentar de esta manera y precisamente lo hizo para rebatir un argumento que daban los defensores del geocentrismo en contra de los que defendían un modelo heliocéntrico. Decían los primeros que en una Tierra moviéndose una bola que cayese desde lo alto de una torre no caería al pie de la misma sino que debería quedar atrás, cosa que nadie había observado. Para rebatir ese argumento era necesario comprender previamente el principio de inercia y la interpretación de los movimientos complejos con el principio de independencia de Galileo. Como puedes ver, algunas ideas no se han podido desarrollar hasta que previamente no se han aclarado otras más fundamentales. Así, el principio de inercia jugó, y juega, un papel fundamental en la comprensión de un gran número de fenómenos relacionados con el movimiento.



## 3.10

Simula la caída de dos bolas, una verticalmente y otra lanzada con velocidad horizontal. Se puede cambiar la velocidad horizontal de la bola lanzada. Se observa que ambas caen al mismo tiempo.



## 3.11

Simulación que permite reproducir con bastante fidelidad el movimiento de los proyectiles. Tiene en cuenta la velocidad del proyectil, el ángulo de lanzamiento, la velocidad del viento, etc. Calcula el alcance y el tiempo de vuelo y puede representar la velocidad vertical y horizontal en diferentes puntos de la trayectoria.

P

**A.31.-** Un cañón dispara una bala con una inclinación de  $30^\circ$  sobre la horizontal. La bala sale del cañón con una rapidez de 200 m/s.

- Calcula la altura máxima a la que llega.
- Calcula el alcance del cañón.
- Dibuja la velocidad de la bala al chocar con el suelo, supuesto éste horizontal, y calcula su módulo.

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

P

**1.** Un avión que vuela a 100 m de altura con una rapidez de 60 m/s deja caer un paquete de provisiones justo cuando pasa por encima de un islote donde se encuentran unos naufragos.

- ¿Dónde caerán las provisiones?
- ¿Dónde las debería dejar caer para que cayesen en el islote?
- ¿Cómo afecta el rozamiento con el aire al movimiento del paquete de provisiones?
  - En el mar, a 271 m del islote;
  - 271 m antes de llegar al islote

P

**2.** Una barca puede navegar a 10 m/s cuando el agua está en calma. Supongamos que navega río abajo durante 10 min y luego lo hace río arriba, también durante 10 min. En qué posición estará la barca después de los 20 min, si sabemos que el agua tiene una rapidez de 2 m/s.

A 2400 m de la posición inicial, río abajo

P

**3.** Una gimnasta que se mueve en línea recta con rapidez constante de 6 m/s lanza verticalmente una pelota con una rapidez inicial de 12 m/s. Si suponemos que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , calcula:

- Altura a la que subirá la pelota;
- distancia del punto de lanzamiento a la que caerá la pelota;
- ¿en qué posición se encontrará la gimnasta en ese momento?

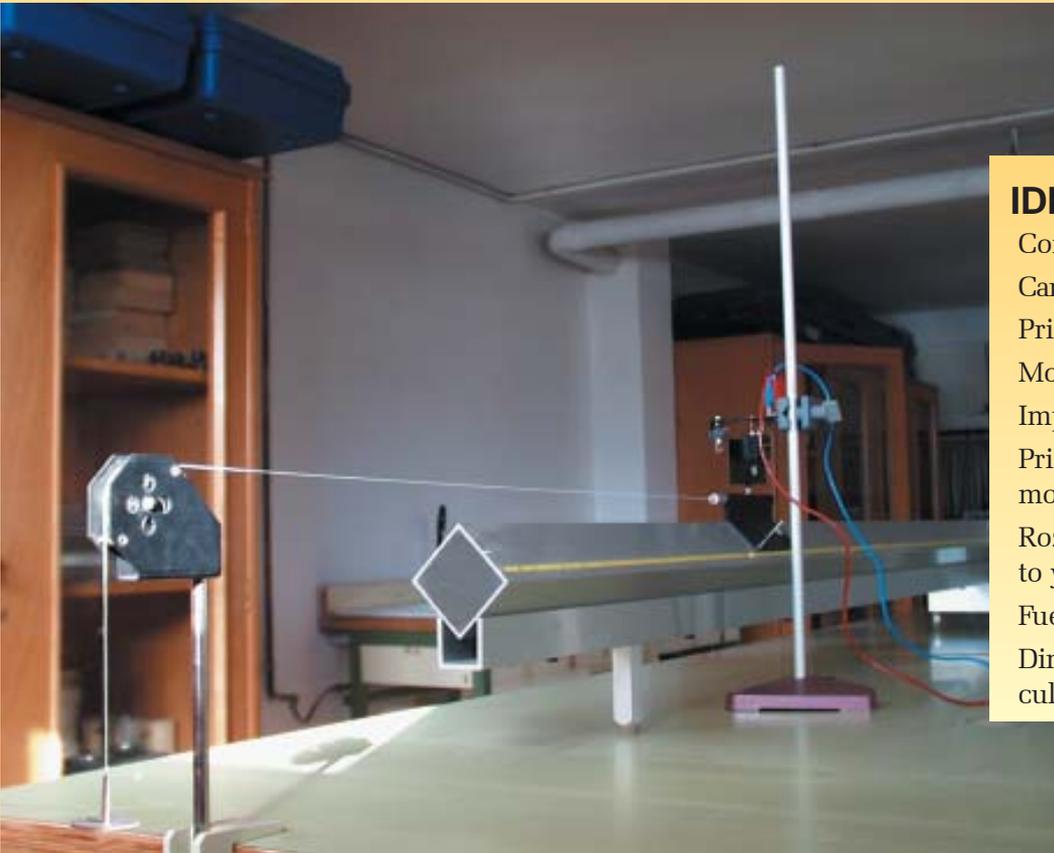
V

- $h = 7,2 \text{ m}$ ;
- $d = 14,4 \text{ m}$ ;
- en la misma que cae la pelota



# 2

# DINÁMICA



## IDEAS PRINCIPALES

- Concepto de fuerza
- Carácter vectorial de las fuerzas
- Principios de la dinámica
- Momento lineal
- Impulso
- Principio de conservación del momento lineal
- Rozamiento por deslizamiento y en el interior de fluidos.
- Fuerzas elásticas
- Dinámica del movimiento circular

La revisión y ampliación de cinemática que hemos hecho en la unidad anterior da paso ahora a una pregunta clave: ¿cómo podemos producir, anular o modificar los movimientos? Para dar respuesta a esta cuestión, el concepto de fuerza es fundamental. Lo estudiaremos desde una perspectiva más rigurosa que en cursos anteriores, incluyendo los principios de la dinámica e introduciendo conceptos e ideas nuevas, como momento lineal, composición de movimientos... Todo ello nos permitirá estudiar con cierto detalle bastantes ejemplos de movimientos reales (caídas de graves, movimiento de naves o cohetes a reacción, movimientos en planos inclinados, etc.) que pueden resultar de gran utilidad y que esperamos que encuentres interesantes.

La **fuerza** es un concepto que se utiliza para **cuantificar la interacción** entre dos cuerpos. Siempre que hablemos de fuerza sobre un cuerpo existe otra fuerza de igual magnitud, dirección y sentido contrario actuando sobre otro cuerpo. Es posible que centremos nuestra atención en una de ellas, pero no debemos olvidar nunca la existencia de la otra.

Las fuerzas se miden a través de los efectos que producen: deformar los cuerpos y modificar su velocidad.

Un aparato especialmente útil para medir fuerzas es el dinamómetro. El valor de la fuerza que marca el dinamómetro está en función de la variación de longitud que produce la fuerza en el muelle, parte esencial del dinamómetro.

Una forma indirecta de medir fuerzas es a partir de las aceleraciones que producen. Si sabemos la masa  $m$  de un sistema y la aceleración  $\mathbf{a}$  con la que se mueve, el valor de la suma de las fuerzas capaz de producir esa aceleración es:  $\Sigma \mathbf{F} = m \mathbf{a}$ . Al interpretar esta ecuación debemos tener cuidado: es la suma de las fuerzas la que produce la aceleración y no al contrario, la existencia de una aceleración no crea fuerzas, sino que nos informa de que deben existir una o varias fuerzas, es decir, interacciones entre cuerpos, capaces de producir esa aceleración.

La unidad de fuerza en el SI es el newton, cuyo símbolo es N. Se define como:

Un newton es la fuerza capaz de producir una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$  a un sistema cuya masa es  $1 \text{ kg}$ .

**A.1.-** Indica si los siguientes enunciados son correctos e incorrectos, corrigiéndolos en caso de que sea necesario.

- La fuerza es una propiedad que tienen unos cuerpos y no tienen otros.
- Cuando la aceleración de un sistema es cero quiere decir que sobre él no actúa fuerza alguna.
- Si un sistema se está moviendo debe haber, al menos, una fuerza capaz de moverlo.
- Si un sistema está disminuyendo su velocidad debe haber, al menos, una fuerza capaz de frenarlo.

## 1.1 Tercera ley de la dinámica

Sólo se necesitan dos tipos de interacciones, las gravitatorias y las electromagnéticas para poder explicar los fenómenos en un nivel macroscópico.

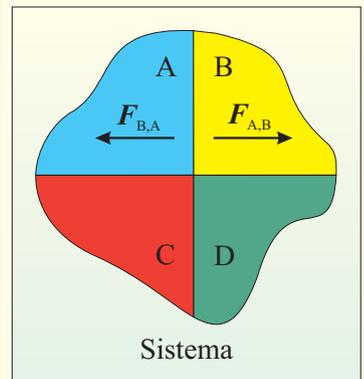
Puesto que las fuerzas sólo existen cuando hay interacción entre dos cuerpos y son debidas siempre a atracciones o repulsiones que tienen su origen en propiedades gravitatorias o eléctricas, las fuerzas siempre se presentan por parejas, ya que las atracciones o las repulsiones son siempre mutuas. La **tercera ley de la dinámica** dice:

Cuando dos cuerpos interactúan, la fuerza que el primero ejerce sobre el segundo tiene el mismo valor numérico y sentido contrario a la que el segundo ejerce sobre el primero.

### FUERZAS INTERIORES Y EXTERIORES A UN SISTEMA

Por sistema entendemos cualquier cantidad de materia limitada por una superficie real o imaginaria. Un balón de fútbol, un vaso de agua o la máquina de un tren más los vagones que arrastre son ejemplos de sistemas.

**Fuerzas interiores** son las que ejercen entre sí las diferentes partes que forman un sistema. En el dibujo la parte A ejerce sobre B una fuerza de igual valor y de sentido contrario a la fuerza que ejerce B sobre A, la suma de todas las fuerzas interiores que existen entre las partes de un sistema es siempre nula. Por lo tanto, las fuerzas interiores no tienen ningún efecto en el cambio de movimiento de un sistema, pero eso sí, son importantes en otras muchas cosas, por ejemplo son las responsables de la mayor o menor rigidez de cualquier sistema.



**Fuerzas exteriores** ejercidas por otros sistemas sobre el sistema que estamos considerando. Son las responsables de producir la deformación del sistema (a eso se opondrán las fuerzas interiores) y de producir el cambio de movimiento del sistema considerado como un todo.

Un **sistema aislado** es aquel en el que la suma de las fuerzas exteriores que actúan sobre él es nula.

V Cada fuerza está aplicada sobre un cuerpo diferente por lo que los efectos que producen pueden ser muy distintos. Al estar cada fuerza aplicada sobre un cuerpo diferente esas fuerzas no se pueden sumar para saber el efecto que se producirá sobre cada uno de los cuerpos.

### Fuerzas eléctricas

En la estructura de la materia son muy importantes las interacciones eléctricas entre los iones, átomos y moléculas. Esas interacciones son bastante complejas, pero sus efectos son semejantes a las de las fuerzas de origen gravitatorio.

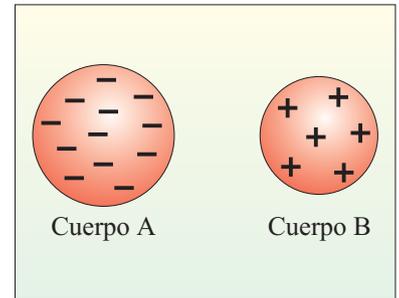
**A.2.-** El dibujo adjunto representa dos cuerpos con cargas de distinto signo siendo la carga del cuerpo A doble que la del B y su masa cuatro veces mayor.

- Representa gráficamente y a una escala aproximada las fuerzas eléctricas que actúan sobre cada cuerpo. Si esas fuerzas son diferentes, ¿cuál es la mayor?
- Si dejamos los cuerpos libres, ¿alcanzarían ambos la misma velocidad antes de chocar? Explica por qué.
- ¿Qué cambiaría si los dos cuerpos tuviesen cargas del mismo tipo? Escribe la ecuación que permite calcular el valor de la fuerza que el cuerpo A hace sobre el cuerpo B. ¿Cómo será la que hace el B sobre el A?



### 3.12

En ambas direcciones se encuentran un tratamiento global de la dinámica, que puede servir para repasar lo estudiado en 4º ESO y para lo que se estudia en este curso.



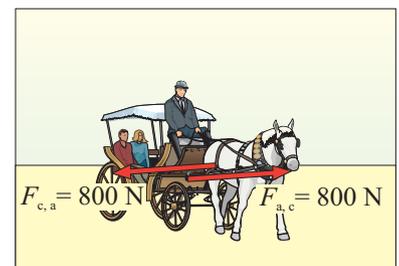
### Fuerzas gravitatorias

Newton, en la ley de gravitación universal, estableció que todos los cuerpos se atraen entre sí. No se sabe por qué es así, pero si se acepta que eso representa una ley fundamental de la naturaleza, ayuda a explicar multitud de fenómenos diferentes, desde la atracción entre los planetas y el Sol hasta la caída de los cuerpos cerca de la superficie de la Tierra.

**A.3.-** a) Escribe la ley de Newton de la gravitación universal para dos cuerpos de masas  $m_1$  y  $m_2$ . Escribe las condiciones que deben cumplirse para que sea aplicable la ecuación que has escrito. ¿Cambia la fuerza gravitatoria si los dos cuerpos están debajo de agua?

- ¿A qué llamamos peso de un cuerpo? ¿Es una propiedad intrínseca de ese cuerpo? ¿Puede cambiar el peso de un cuerpo sin cambiar su masa?
- Una manzana es atraída por la Tierra con un newton, ¿con qué fuerza es atraída la Tierra por la manzana? ¿Por qué no sube la Tierra mientras que sí cae la manzana?
- ¿Cómo sabemos que existe atracción mutua entre el Sol y los planetas? ¿Cómo se miden esas fuerzas? ¿Qué dinamómetro se ha utilizado?

**A.4.-** Un animal tira de un carro con una fuerza de 800 N. Según la tercera ley, el carro tira del animal con una fuerza también de 800 N en sentido contrario a la anterior. Si ambas fuerzas son iguales numéricamente y de sentidos contrarios su suma es cero. ¿Cómo es posible poner el carro en movimiento?



**A.5.-** A un barco metálico le colocamos un poderoso imán unido mediante un brazo de madera, de la forma indicada en el dibujo. Como el imán atrae al hierro del barco, hará que éste se desplace avanzando hacia el imán; pero al avanzar el barco, el imán también se desplaza, por lo que se desplaza todo el sistema. ¿Te parece que funcionará el invento?, ¿por qué?



## 1.2 Primera ley de la dinámica

Un avance fundamental en la comprensión del movimiento fue considerar que el estado natural de los cuerpos no es el reposo. En realidad, el avance fue comprender que el reposo y el movimiento rectilíneo uniforme son idénticos desde el punto de vista dinámico. Eso se recoge en la **primera ley de la dinámica**:

Si sobre un cuerpo no actúan fuerzas, o la suma de todas las que actúan sobre él es nula, el cuerpo mantiene su estado de movimiento.

Eso significa que:

- Si el cuerpo está en reposo permanece en reposo.
- Si el cuerpo está en movimiento sigue en línea recta con la misma velocidad que llevaba en ese momento.

P

**A.6.-** a) Una patinadora sobre hielo se desplaza con rapidez constante y en línea recta sobre una pista de hielo. Identifica las fuerzas que actúan sobre la patinadora y señala el valor de la suma de todas.

b) En una situación real, la patinadora disminuye progresivamente su rapidez. ¿A qué será debido?

P

**A.7.-** Desde el balcón de una casa intentamos subir un piano con ayuda de una cuerda y una polea. Compara los valores de la fuerza que tendremos que hacer sobre la cuerda en los siguientes casos:

- El piano sube con rapidez constante.
- Mantenemos al piano parado en el aire.
- Dejamos que el piano baje con rapidez constante.

V



V

## 1.3 La fuerza, magnitud vectorial

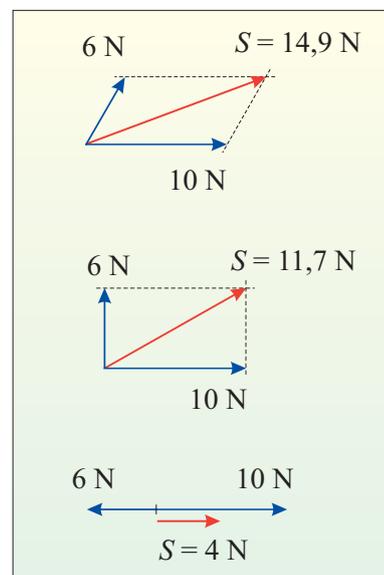
Si sabemos que sobre un cuerpo actúa una fuerza, es necesario conocer la dirección y sentido de la misma para saber el efecto que producirá. El que las fuerzas sean magnitudes vectoriales influye, entre otras cosas, en la manera en las que debemos sumarlas.

Ya vimos en el curso pasado que el resultado de sumar dos fuerzas depende de la orientación que tengan. En la figura se representa los resultados obtenidos al sumar dos fuerzas según el ángulo que formen sus direcciones.

### Componentes de una fuerza

Una fuerza puede producir efectos sobre un cuerpo en direcciones diferentes a la de la propia fuerza. Por ejemplo, si una persona tira de una maleta con una fuerza de 60 N que forma un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal, esa fuerza tiene «efectos horizontales» y «efectos verticales». En este caso nos interesará conocer dos fuerzas, una vertical y otra horizontal, cuya suma sea igual a la fuerza de 60 N, como representa el dibujo de la página siguiente. A estas fuerzas se les llama **componentes** y a la operación **descomposición vectorial**.

En este caso, el valor de la componente horizontal informa del «efecto horizontal» y el valor de la componente vertical informa del «efecto vertical» de esa fuerza.

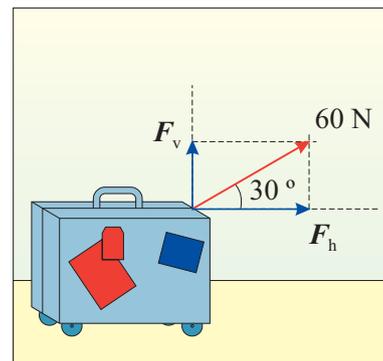


Podemos decir que la fuerza de 60 N equivale a la suma de dos fuerzas independientes, una en dirección horizontal y otra en dirección vertical, cuyo valor fuese el de las componentes de esa fuerza.

Las componentes se calculan utilizando las relaciones trigonométricas adecuadas:

$$\left. \begin{aligned} F_h &= 60 \cos 30 = 52 \text{ N} \\ F_v &= 60 \sin 30 = 30 \text{ N} \end{aligned} \right\} \mathbf{F} = 52 \mathbf{i} + 30 \mathbf{j} \text{ N}$$

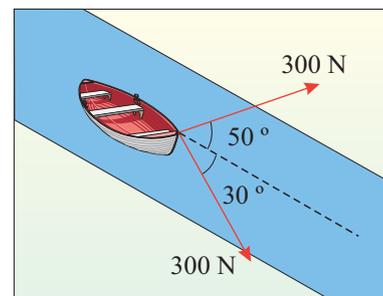
La única fuerza real es la de 60 N; las componentes son una ayuda para explicar los efectos de esa fuerza en las diferentes direcciones. Si nos interesara estudiar los efectos de la fuerza de 60 N en otras direcciones diferentes la descomposición, y por tanto las componentes, serían otras.



P

**A.8.-** Sobre una barca se tira en las direcciones indicadas en el dibujo con fuerzas de 300 N.

- Calcula la suma de las componentes de esas fuerzas en la dirección de la corriente del río.
- Calcula la suma de las componentes de esas fuerzas en la dirección perpendicular a la corriente.
- Calcula la suma de esas fuerzas. Dibuja su dirección y sentido.



### Condición de equilibrio

En muchas ocasiones para hacer los cálculos pertinentes debemos tener en cuenta que cuando un cuerpo está en equilibrio la suma de todas las fuerzas debe ser nula. Esto debe cumplirse para todas aquellas direcciones en las que podamos considerar que existe equilibrio; así, si un cuerpo está en equilibrio en la dirección vertical es porque la suma de todas las componentes verticales de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo será nula.

Equilibrio en la dirección horizontal:  $\Sigma F_h = 0$

Equilibrio en la dirección vertical:  $\Sigma F_v = 0$

En ocasiones, a la fuerza que un cuerpo hace en dirección vertical para sostener a otro se le llama **fuerza normal (N)**.

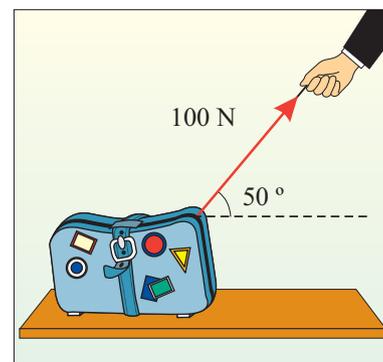
Algunos autores llaman resultante a la suma de las fuerzas que actúan sobre un sistema.

P

**A.9.-** a) Una maleta de 20 kg se encuentra sobre un plano horizontal. Identifica y dibuja las fuerzas que actúan sobre la maleta.

b) Tiramos de la maleta de 20 kg con una fuerza de 100 N que forma un ángulo de 50° con la horizontal. Calcula la fuerza que tiene que hacer el plano para sostenerla. Calcula la suma de las fuerzas que actúan sobre la maleta.

c) ¿Es siempre la fuerza normal igual al peso del cuerpo? Explica la respuesta, poniendo algún ejemplo diferente al anterior.



### Cuerpo sobre un plano inclinado

Si suponemos que el cuerpo se ha dejado sobre el plano y no le empujamos ni tiramos de él, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son (figura 1):

$F_{T,C} = m g$  que es la fuerza con la que la Tierra atrae a ese cuerpo. Su valor depende de la masa del cuerpo y de la intensidad de la atracción gravitatoria. En un lugar en el que  $g$  toma el valor de 9,8 N/kg, esta fuerza valdrá:  $F_{T,C} = 9,8 m$ , de forma que si la masa se expresa en kilogramos la fuerza estará expresada en newtones.

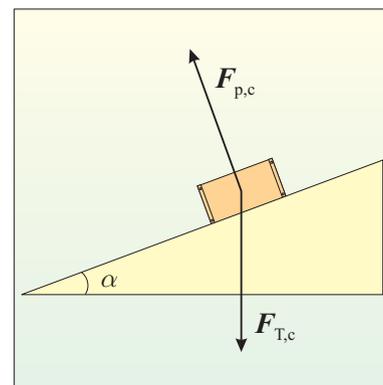


Figura 1

$F_{PC}$  que es la fuerza que hace el plano sobre el cuerpo. Es siempre perpendicular a la superficie del plano y su valor depende de la inclinación de éste.

Es posible que además de esas fuerzas existan otras: fuerza con la que tiramos del cuerpo hacia arriba o hacia abajo, fuerza de rozamiento con el suelo, etc., pero en principio no las tendremos en cuenta.

### Suma analítica de las fuerzas

Para poder calcular la suma analítica será necesario expresar las fuerzas en función de sus componentes respecto de un mismo sistema de referencia. Normalmente se toma como eje  $x$  un eje paralelo al plano (ya que esa será la dirección del movimiento en la mayoría de los casos) y, como eje  $y$ , uno que es perpendicular al mismo plano.

En la figura 2 podemos observar que el ángulo que forman  $F_{T,C}$  y el eje  $y$  es igual al ángulo de inclinación del plano. Eso es debido a que los lados que forman los ángulos son perpendiculares entre sí.

Si llamamos  $F_x$  y  $F_y$  a las componentes de  $F_{T,C}$  según los ejes  $x$  e  $y$  respectivamente, podemos escribir:

$$\mathbf{F}_{T,C} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j}$$

Los valores numéricos se pueden calcular a partir de las relaciones trigonométricas siguientes:

$$\text{sen } \alpha = \frac{F_x}{F_{T,C}}; \quad F_x = F_{T,C} \text{ sen } \alpha$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{F_y}{F_{T,C}}; \quad F_y = F_{T,C} \text{ cos } \alpha$$

En la figura 3 se representan las componentes de las fuerzas que hay en las direcciones de los ejes. Ha «desaparecido» la  $F_{T,C}$  que ha sido sustituida por sus componentes  $F_x$  y  $F_y$ . Para calcular la suma de las fuerzas, sumaremos por separado las componentes respecto a cada eje.

Eje  $x$ :  $\Sigma F_x = F_x = (F_{T,C} \text{ sen } \alpha) \mathbf{i}$

Eje  $y$ :  $\Sigma F_y = F_y + F_{PC} = (F_{T,C} \text{ cos } \alpha + F_{PC}) \mathbf{j}$

En principio no sabemos cuánto vale  $\Sigma F_y$ , pues desconocemos  $F_{PC}$ . Sin embargo, en muchas ocasiones, pero no siempre, el cuerpo está en equilibrio respecto al eje  $y$ , por lo que  $\Sigma F_y = 0$ , y por ello,  $F_{PC} = -F_{T,C} \text{ cos } \alpha \mathbf{j}$

A la fuerza  $F_{PC}$  se le llama en ocasiones **fuerza normal**, mientras que a  $\Sigma F_x$  se le conoce como **fuerza tangencial**.

Puesto que  $\Sigma F_y = 0$ , la suma de todas las fuerzas será igual a la suma de las componentes en el eje  $x$  ( $\Sigma \mathbf{F} = \Sigma F_x \mathbf{i}$ ). En la figura 4 hemos representado la suma de todas las fuerzas.

Debes tener en cuenta que el procedimiento seguido será válido siempre que supongamos que en el eje  $y$  hay equilibrio. Además, hemos supuesto que no existen otras fuerzas que la que hace la Tierra sobre el cuerpo y la que hace el plano sobre él.

Si se ejerce alguna otra fuerza sobre el cuerpo habrá que tenerla en cuenta. Se procederá calculando las componentes de esas fuerzas adicionales respecto a los mismos ejes de coordenadas.



### 3.13

Dos direcciones con simulaciones de planos inclinados. Se puede modificar la posición y velocidad inicial del cuerpo, así como la inclinación del plano y el coeficiente de rozamiento. Muestra los vectores velocidad y aceleración, y las fuerzas que actúan.

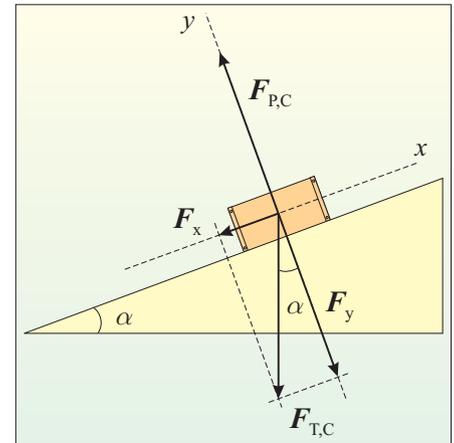


Figura 2

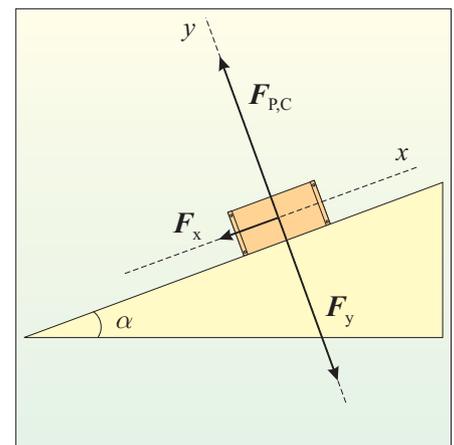


Figura 3

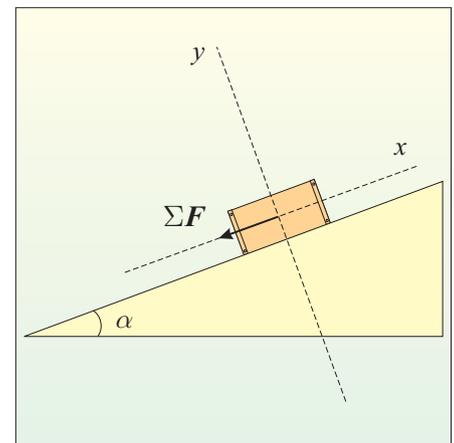
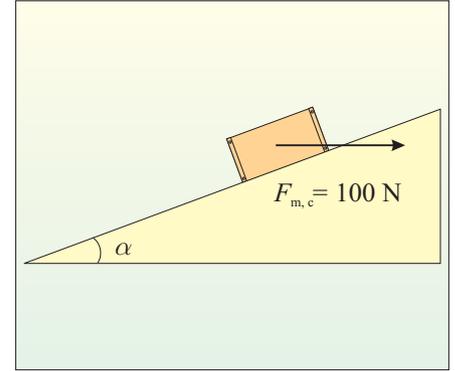


Figura 4

P

**A.10.-** Un cuerpo de 20 kg se coloca sobre un plano inclinado  $15^\circ$  respecto a la horizontal. Utilizando el criterio de signos positivo hacia arriba y hacia la derecha, indica el valor de cada una de las siguientes fuerzas:

- Componente  $x$  de la fuerza de atracción de la Tierra sobre el cuerpo.
- Componente  $y$  de la fuerza de atracción de la Tierra sobre el cuerpo.
- La componente  $x$  y la componente  $y$  de la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.
- ¿Cuáles son las fuerzas reales que se ejercen sobre el cuerpo?



P

**A.11.-** Sobre el cuerpo anterior se hace la fuerza de 100 N, tal como se representa en el dibujo.

- Calcula el valor de la fuerza normal y el de la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.
- ¿Cuáles son las fuerzas reales que se ejercen sobre el cuerpo?

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

P

**1.** Sobre una balanza de 3 kg hay una persona de 70 kg que tiene sobre sus hombros una niña de 10 kg. Dibuja diagramas separados en los que se representen y se nombren adecuadamente:

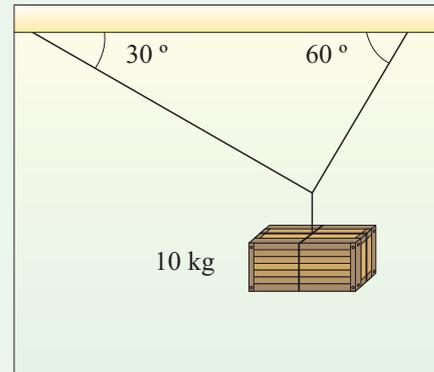
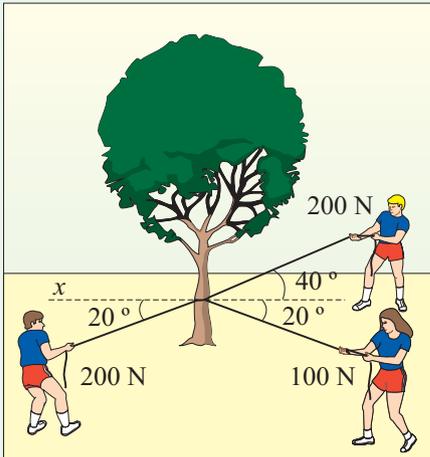
- Las fuerzas que actúan sobre la persona.
- Las fuerzas que actúan sobre la niña.
- Las fuerzas que actúan sobre la balanza.
- ¿Cuál sería la fuerza normal balanza-persona?, ¿y la fuerza normal suelo-balanza?

$$F_{B,P} = 784,0 \text{ j N}; F_{S,B} = 813,4 \text{ j N}$$

P

**2.** Tres jóvenes tiran de un árbol con fuerzas que están en un plano y cuyos valores y direcciones están recogidas en la figura. Calcula la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el árbol y su módulo.

$$\mathbf{F} = 59,2 \mathbf{i} + 26,0 \mathbf{j} \text{ N}; F = 64,7 \text{ N}$$



AC

P

**3.** Un cuerpo de 10 kg cuelga del techo de la forma representada en la figura. Calcula la fuerza que debe hacer cada cuerda.

49 N la cuerda izquierda, 85 N la cuerda derecha

P

**4.** Una persona limpia el pasillo de un hospital empujando una fregona con una fuerza de 30 N que forma un ángulo de  $50^\circ$  con la vertical. La masa de la fregona es 1,5 kg. La fuerza de rozamiento suelo-fregona es 10 N.

- Calcula la fuerza normal que hace el suelo sobre la fregona.
- Calcula la suma de las fuerzas que actúan sobre la fregona.

$$\text{a) } \mathbf{F} = 34,0 \mathbf{j} \text{ N}; \text{ b) } \Sigma \mathbf{F} = 13,0 \mathbf{i} \text{ N}$$

# 2

## SEGUNDA LEY DE LA DINÁMICA

La segunda ley de la dinámica establece la relación que existe entre la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y la aceleración que le producen. La expresamos de la forma:

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

Podemos decir que cuantifica el cambio en el movimiento del cuerpo. La suma de todas las fuerzas que actúan es la causa capaz de producir el cambio de movimiento. La aceleración a la que se refiere la segunda ley es la total, que tiene en cuenta tanto el cambio de dirección como el cambio del módulo de la velocidad.

La expresión anterior es válida en multitud de ocasiones, pues la única condición que debe cumplirse para poder aplicarla es que la masa del sistema permanezca constante. Aunque se conoce como segunda ley de Newton, el primero que la escribió en la forma propuesta fue Euler, a mediados del siglo XVIII, medio siglo después. El gran científico inglés la expresó refiriéndose a la cantidad de movimiento.



Isaac Newton (1642-1727)

### 2.1 Momento lineal (cantidad de movimiento)

En la descripción del movimiento que se hace en cinemática no se tiene en cuenta ningún factor relacionado con las características del cuerpo que se mueve. Sin embargo, está claro que es diferente el movimiento de una bicicleta al de un autobús, aunque ambos tengan la misma velocidad y aceleración. Parece necesario definir una nueva magnitud que incluya tanto las características del movimiento como las del cuerpo que se mueve; quizás los dos factores más representativos sean la masa para identificar al cuerpo y la velocidad para identificar al movimiento. La magnitud que tiene en cuenta ambos factores se llama **momento lineal** o **cantidad de movimiento**:

$$\mathbf{p} = m \mathbf{v}$$

**A.12.-** a) El momento lineal, ¿será una magnitud escalar o vectorial?, ¿por qué?, ¿cuál será su dirección y sentido?, ¿cuál será su unidad en el SI?

b) Calcula el momento lineal de un trozo de barro de 500 g que se mueve horizontalmente con rapidez de 4 m/s. Considera unos ejes coordenados y expresa el momento lineal vectorialmente.

El momento lineal, que es una magnitud vectorial, se expresa, cuando la trayectoria del movimiento es rectilínea, sólo con un número, su módulo, acompañado de un signo que nos indica el sentido.

El momento lineal de un cuerpo puede variar si lo hace su velocidad, su masa o ambas cosas. Para calcular la variación del momento lineal se debe restar al vector que exprese el momento lineal final el vector que exprese el momento lineal inicial:

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_f - \mathbf{p}_i = m_f \mathbf{v}_f - m_i \mathbf{v}_i$$

Si la masa del sistema no varía, la expresión anterior se simplifica:

$$\Delta \mathbf{p} = m \mathbf{v}_f - m \mathbf{v}_i = m \Delta \mathbf{v}$$

P

**A.13.-** a) Calcula la variación del momento lineal cuando un automóvil, cuya masa es 700 kg, pasa en 15 s de 20 a 30 m/s siguiendo una trayectoria rectilínea. Exprésalo vectorialmente.

b) Calcula la variación del momento lineal cuando el mismo automóvil con velocidad de 30 m/s frena hasta pararse siguiendo una trayectoria rectilínea.

c) Calcula la variación del momento lineal de una pelota de goma de 500 g que llega al suelo con rapidez de 4 m/s, rebota, y comienza a subir con rapidez de 3 m/s. Tanto antes como después del choque la pelota se mueve en una trayectoria rectilínea vertical.

## 2.2 Impulso y cambio de momento lineal

Newton fue el primero en reflejar claramente que para cambiar el momento lineal de un cuerpo es necesario que sobre él actúe una fuerza. El cambio del momento lineal dependerá tanto del valor de la fuerza como del tiempo durante el que actúe esa fuerza, de forma que podremos escribir:

$$\Delta p = F \Delta t$$

Al producto  $F \Delta t$  se le llama **impulso**  $I$  ejercido por la fuerza  $F$  en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ . Es una magnitud vectorial.

Cuando sobre un sistema actúan varias fuerzas exteriores, el impulso total será la suma de los impulsos ejercidos por cada una de las fuerzas. También se puede calcular sumando todas las fuerzas y obteniendo el impulso ejercido por la suma de todas las fuerzas  $\Sigma F \Delta t$ . Su unidad en el SI es el newton · segundo, N·s.

$$\Delta p = \Sigma F \Delta t$$

Esta es la forma como Newton expresó la segunda ley de la dinámica, aunque no lo hiciese algebraicamente. La podemos escribir también de la forma:

$$\Sigma F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Para resolver las siguientes actividades utiliza los conceptos de impulso y de momento lineal, así como la relación entre ellos.

P

**A.14.-** a) Explica el significado de la ecuación anterior.

b) A un balón de 0,8 kg le empujas, durante 0,2 s, verticalmente hacia arriba con una fuerza que suponemos constante e igual a 40 N.

1) Identifica todas las fuerzas que actúan sobre el balón y calcula el impulso total ejercido sobre el balón en ese intervalo de tiempo.

2) Calcula la velocidad con la que sale el balón de tu mano, suponiendo que antes de empujarle estaba en reposo.

3) ¿Cuál es la suma de las fuerzas que actúan sobre el balón mientras sube, una vez que ha abandonado la mano? Calcula el tiempo que estará subiendo el balón una vez que haya salido de la mano.



### ATENCIÓN

La fuerza debe ser constante en el intervalo de tiempo considerado.

P

**A.15.-** a) Calcula la fuerza, supuesta constante, que se debe hacer para detener en 40 s un coche de 700 kg que lleva una rapidez de 20 m/s. Repite el cálculo suponiendo que frena en 10 s.

b) Calcula la fuerza, supuesta constante, que hace una raqueta sobre una pelota de tenis de 58 g que llega a la raqueta con una rapidez horizontal de 30 m/s y sale de ella en la misma dirección y sentido contrario con una rapidez de 50 m/s, si suponemos que el choque dura 0,05 s.

c) ¿Qué fuerza habrá hecho la pelota sobre la raqueta?, ¿en qué se nota?

**A.16.-** ¿Por qué si una persona cae desde un quinto piso y choca contra el suelo, las consecuencias son mucho más desastrosas que si cae sobre una colchoneta de goma espuma? Ten en cuenta que la variación de velocidad es la misma tanto si cae directamente como si lo hace sobre la colchoneta.

P

**A.17.-** Una molécula de nitrógeno tiene una masa de  $m = 4,7 \cdot 10^{-26}$  kg y se mueve a una velocidad de 480 m/s a una temperatura dada. Choca contra la pared del recipiente y rebota con igual rapidez, pero en sentido contrario.

a) Calcula la variación del momento lineal de esa molécula en el choque.

b) Si sobre esa pared se producen  $5,5 \cdot 10^{24}$  choques/s, calcula la fuerza media ejercida sobre la pared en 1 s. ¿Por qué no se notan los choques individuales?

c) Si la pared tiene una superficie de  $24 \text{ cm}^2$ , ¿qué presión hacen las moléculas sobre la pared debida a los choques? ¿Por qué no se desplaza el recipiente debido a esas fuerzas?

d) Analiza si te parecen correctas las siguientes suposiciones:

\* Todas las moléculas tienen la misma velocidad.

\* Todas las moléculas chocan frontalmente.

P

**A.18.-** Sobre una mesa sin rozamiento se desplaza en línea recta un cuerpo de 0,5 kg con rapidez de 2,4 m/s. Se le aplica durante 0,5 s una fuerza de 3 N en dirección perpendicular a la velocidad inicial del cuerpo.

¿Cuál será la velocidad final del cuerpo? ¿Cuál será la dirección final del movimiento del cuerpo?



AC

## 2.3 Segunda ley en función de la aceleración

Si suponemos que la masa del sistema es constante podemos escribir:

$$\frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} = \Sigma \mathbf{F} \Rightarrow \frac{m \Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \Sigma \mathbf{F} \Rightarrow \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\Sigma \mathbf{F}}{m} \Rightarrow \mathbf{a} = \frac{\Sigma \mathbf{F}}{m}$$

Vemos que la segunda ley de la dinámica se expresa de dos formas diferentes, en función de la variación del momento lineal o en función de la aceleración.

En muchas ocasiones no cambia la masa del sistema y por lo tanto, puede aplicarse la segunda ley escrita en función de la aceleración.

De cualquier forma, la segunda ley expresa una relación causa-efecto.

**Causa:** suma de todas las fuerzas exteriores que actúan sobre un sistema.

**Efecto:** variación del momento lineal del mismo (o aceleración del sistema).

La expresión que estamos usando es válida sólo cuando la suma de todas las fuerzas sea constante, en el tiempo considerado, en módulo, dirección y sentido. En algunas ocasiones, cuando no es constante, se puede utilizar el valor medio de la suma de todas las fuerzas que actúan en un intervalo de tiempo.

### ATENCIÓN

La masa del cuerpo debe ser constante y su rapidez debe ser pequeña comparada con la de la luz.

## EJEMPLO

Una bola de hierro de 2 kg cae desde una determinada altura sobre una colchoneta. En un momento dado, la bola cuya rapidez es 10 m/s está frenando con aceleración de 2 m/s<sup>2</sup>.

- ¿Qué fuerza ejerce la colchoneta sobre la bola en ese momento? ( $g = 9,8 \text{ N/kg}$ ).
- ¿Podemos llamar normal a esa fuerza? ¿Es igual al peso de la bola?

a) En este ejemplo todos los efectos relevantes ocurren en el eje  $y$ . Tomaremos como criterio de signos, positivo hacia arriba y negativo hacia abajo. Sobre la bola actúan las fuerzas:

$$\mathbf{F}_{T,B} = -2 \cdot 9,8 \mathbf{j} = -19,6 \mathbf{j} \text{ N (Fuerza que hace la Tierra sobre la bola)}$$

$$\mathbf{F}_{C,B} \text{ (Fuerza que hace la colchoneta sobre la bola)}$$

$$\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{F}_{T,B} + \mathbf{F}_{C,B} = -19,6 \mathbf{j} + \mathbf{F}_{C,B}$$

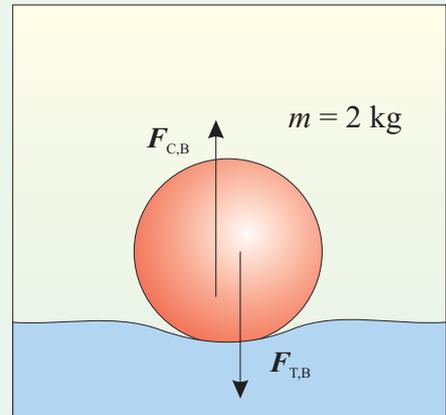
La aceleración, escrita vectorialmente es:  $\mathbf{a} = 2 \mathbf{j} \text{ m/s}^2$ .

Aplicando el segundo principio de la dinámica podemos escribir:

$$\mathbf{a} = \frac{\Sigma \mathbf{F}}{m}; \quad 2 \mathbf{j} = \frac{-19,6 \mathbf{j} + \mathbf{F}_{C,B}}{2}; \quad \mathbf{F}_{C,B} = 23,6 \mathbf{j} \text{ N}$$

El signo positivo indica que esa fuerza está dirigida hacia arriba, lo que es lógico.

b) Esa fuerza es de las que podemos llamar normal. Es perpendicular a la superficie de contacto entre la colchoneta y la bola. No se trata del peso de la bola, por lo que su valor no tiene que ser igual al mismo. Esa fuerza no sólo «contrarresta» al peso sino que además sirve para frenar la bola.



**A.19.-** A una vagoneta de 12 kg se le empuja durante 0,5 s en una superficie horizontal y adquiere la rapidez de 8 m/s partiendo del reposo. Con esa rapidez comienza a subir una cuesta, momento en el que se le deja de empujar, y alcanza la máxima altura 1 s después.

a) Calcula la aceleración de la vagoneta mientras se le estuvo empujando sobre la superficie horizontal y mientras sube la cuesta. Dibuja el vector aceleración tangencial en ambos casos.

b) Calcula la suma de las fuerzas que actúan sobre la vagoneta en cada tramo. Indica su módulo y dibuja el vector representativo de la misma.

c) Calcula la variación del momento lineal en cada tramo.

**A.20.-** Una pelota de 0,2 kg cae verticalmente, llega al suelo con una rapidez de 20 m/s y rebota con una rapidez de 16 m/s, durando el choque 0,3 s.

a) ¿Cuál ha sido la aceleración tangencial de la pelota?

b) Calcula la variación de momento lineal de la pelota.

c) ¿Cuál ha sido el impulso ejercido sobre la pelota? ¿Qué fuerza, supuesta constante, ha ejercido el suelo sobre la pelota?

d) ¿La fuerza que ejerce la pelota sobre el suelo es su peso?, ¿por qué?

e) ¿Se puede considerar a la pelota como un sistema aislado mientras dura el choque contra el suelo? Explica la respuesta.

f) ¿Se puede considerar aislado al sistema pelota-Tierra mientras dura el choque? Explica la respuesta. De acuerdo con lo anterior, ¿cómo se habrá movido la Tierra durante el choque?, ¿por qué no lo notamos?

**A.21.-** a) ¿Qué fuerza debemos hacer para sostener la cesta de la compra cuyo peso es de 80 N?

b) ¿Qué fuerza debemos hacer para levantarla del suelo con un movimiento uniformemente acelerado de forma que recorra 40 cm en 1 s?



3.14

Puedes hacer los ejercicios propuestos en los apartados «Leyes de Newton», «Choques» y «Plano inclinado».



**A.22.-** En ocasiones se dice que «*inercia es la oposición que presenta un cuerpo a cambiar su estado de movimiento*». ¿Crees que es una expresión totalmente correcta? ¿Con qué fuerza se opone un cuerpo cuya masa es 1000 kg a cambiar su estado de movimiento? Explica las respuestas.

## 2.4 Conservación del momento lineal

La segunda ley nos indica que la variación del momento lineal de un sistema depende de la suma de todas las fuerzas exteriores que actúan sobre él y del tiempo que estén aplicadas sobre el mismo. Un sistema se dice que está aislado cuando la suma de todas las fuerzas exteriores que actúan sobre él es nula, ( $\Sigma \mathbf{F}_{\text{ext}} = 0$ ). Por ello, en un sistema aislado no hay variación del momento lineal: el momento lineal total del sistema permanece constante. Esto se conoce como **principio de conservación del momento lineal (PCML)**, que se puede expresar algebraicamente:

$$\Sigma \mathbf{F}_{\text{ext}} = 0 \Rightarrow \Delta \mathbf{p} = 0 \Rightarrow \mathbf{p} = \text{constante}$$

Para ilustrarlo supondremos un sistema formado por dos cuerpos: un imán de masa  $m_I$  y un trozo de hierro de masa  $m_H$ , colocados sobre una superficie horizontal. Para simplificar supondremos que el rozamiento entre la mesa y los dos cuerpos es despreciable.

Sobre cada cuerpo actúan las fuerzas representadas en el dibujo. Si centramos la atención sobre el imán, la suma de las fuerzas que actúan sobre él será:

$$\Sigma \mathbf{F}_I = \mathbf{F}_{H,I}$$

Sobre el trozo de hierro, la suma de todas las fuerzas que actúan sobre él es igual a la fuerza que le ejerce el imán:

$$\Sigma \mathbf{F}_H = \mathbf{F}_{I,H}$$

Si estas fuerzas actúan durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , producirán una variación del momento lineal del imán y del hierro:

$$\Delta \mathbf{p}_I = \mathbf{F}_{H,I} \Delta t$$

$$\Delta \mathbf{p}_H = \mathbf{F}_{I,H} \Delta t$$

Puesto que según la tercera ley de la dinámica,  $\mathbf{F}_{H,I} = -\mathbf{F}_{I,H}$ , se deduce que:

$$\Delta \mathbf{p}_I = -\Delta \mathbf{p}_H$$

Es decir, ambos cuerpos experimentan una variación del momento lineal de igual valor y sentido contrario. Podemos escribir que:

$$\Delta \mathbf{p}_I + \Delta \mathbf{p}_H = 0$$

También lo podemos escribir de la forma:

$$\mathbf{p}_{I \text{ final}} - \mathbf{p}_{I \text{ inicial}} + \mathbf{p}_{H \text{ final}} - \mathbf{p}_{H \text{ inicial}} = 0$$

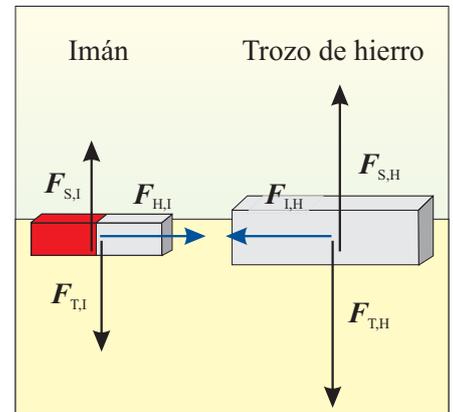
Y agrupando los términos final e inicial:

$$\mathbf{p}_{I \text{ final}} + \mathbf{p}_{H \text{ final}} = \mathbf{p}_{I \text{ inicial}} + \mathbf{p}_{H \text{ inicial}}$$

El momento lineal final del sistema es igual que el inicial, es decir, no ha cambiado. Aunque la demostración anterior se refiere a un caso particular, la conclusión a la que se ha llegado es general y la podemos expresar de la siguiente forma:

Si sobre un sistema formado por varios cuerpos no actúan fuerzas exteriores (o la suma de las fuerzas exteriores es nula), el momento lineal del sistema se mantiene constante.

Puede que cambie el momento lineal de cada uno de los cuerpos, pero la suma de los momentos lineales de todos los cuerpos no cambia.



### 3.15

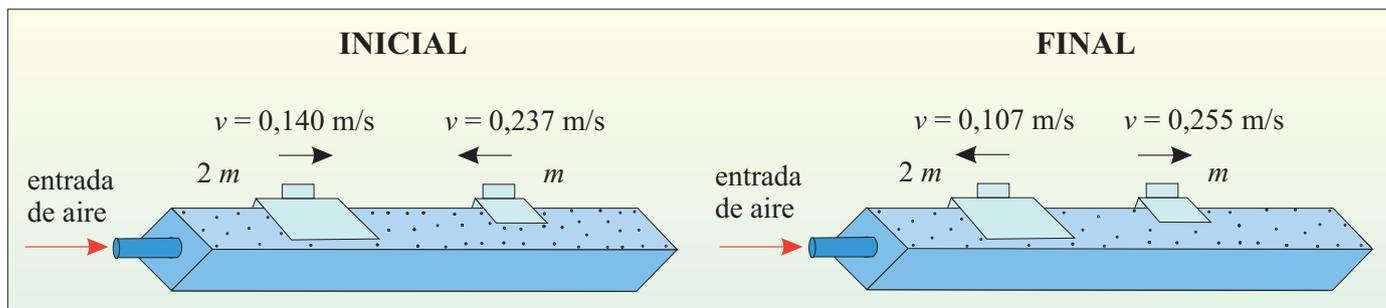
Simulaciones que permiten comprobar y aplicar la conservación del momento lineal en choques. Son interactivas permitiendo modificar algunos parámetros.

El PCML permite resolver algunos problemas de una forma más simple que si tuviéramos que calcular las fuerzas.

P

**A.23.-** Un cuerpo de masa  $m$  se desplaza hacia la izquierda con una rapidez de  $0,237$  m/s. Otro cuerpo, de doble masa, se desplaza hacia la derecha con rapidez  $0,140$  m/s. Después de chocar, el primer cuerpo se desplaza hacia la derecha con rapidez de  $0,255$  m/s mientras que el de doble masa lo hace hacia la izquierda con  $0,107$  m/s. Todo ello ocurre sobre un carril de aire (dispositivo que disminuye el rozamiento hasta valores que podemos considerar despreciables). Discute los datos anteriores a la luz del principio de conservación del momento lineal.

V

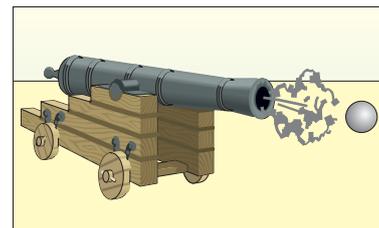


P

**A.24.-** a) Explica por qué retrocede un cañón cuando dispara un proyectil teniendo en cuenta las fuerzas que actúan sobre el cañón y las que actúan sobre el proyectil.

b) Explica por qué retrocede el cañón teniendo en cuenta el PCML.

c) Si la masa del proyectil es de  $1$  kg y sale del cañón a  $400$  m/s, ¿cuál es la velocidad de retroceso del cañón si suponemos que su masa es de  $500$  kg?



AC

**A.25.-** Dos patinadoras se encuentran sobre una superficie horizontal sobre la que pueden deslizarse prácticamente sin rozamiento. La masa de la persona A es el triple de la masa de la persona B.

a) Explica qué ocurrirá si estando ambas en reposo la persona A empuja a la B. ¿Cuál de ellas se moverá con una velocidad mayor?, ¿por qué?

b) Supongamos que es la persona B la que empuja a la A. ¿Cuál de ellas se moverá con una velocidad mayor?, ¿por qué?



**A.26.-** a) ¿Por qué no retrocedemos al lanzar una piedra cuando estamos calzados con unos zapatos de goma y sobre una superficie de cemento?

b) ¿Qué ocurrirá si lanzamos la misma piedra calzados con unos esquíes sobre una superficie de hielo, siendo el rozamiento con el suelo casi nulo?

### El movimiento a reacción

Seguro que has visto subir un cohete en alguna fiesta o feria. Aparentemente no hay nada externo que empuje al cohete y efectivamente, así es. Son los gases producidos al quemarse la pólvora los que empujan al resto del cohete hacia arriba mientras que el resto del cohete empuja a los gases hacia abajo (la dirección de esas fuerzas depende de cómo esté orientado el cohete). Si la fuerza que hacen los gases sobre el cohete es mayor al peso del cohete, éste subirá con aceleración. Esa explicación supone la aplicación de la tercera ley de la dinámica.

V

Una explicación alternativa nos la proporciona el PCML. Teniendo en cuenta que la suma del momento lineal de los gases y el momento lineal del resto del cohete

debe ser constante, si los gases salen a gran velocidad en un sentido, el resto del cohete debe moverse en sentido contrario para que el momento lineal no varíe (en realidad, no sería constante pues sobre el cohete en su conjunto actúa la atracción de la Tierra que hace que aumente el momento lineal total en esa dirección).

Algo parecido ocurre en los **aviones a reacción** o en los **cohetes**. Los aviones de hélice no pueden subir por encima de una determinada altura porque el aire es tan poco denso que las hélices no pueden echar hacia atrás el aire necesario para poder mantener la velocidad del avión.

En el espacio exterior no hay aire que pueda servir para empujar a un vehículo. Los vehículos espaciales deben llevar el combustible y el oxígeno que van a quemar, de forma que se produzcan gases a alta temperatura y alta presión en sus cámaras de combustión. Esos gases salen a gran velocidad en sentido contrario al que queremos que lleve el cohete.

En un avión a reacción el proceso es totalmente similar. En las cámaras de combustión se quema el combustible y se producen gases cuya salida a gran velocidad en una determinada dirección impulsan al resto del avión en sentido contrario. Un motor a reacción de los más sencillos toma aire y lo comprime. Inyecta combustible pulverizado en ese aire y lo quema produciendo una gran cantidad de gases calientes que salen por la parte trasera del motor. Dado que el avión empuja a los gases hacia atrás, los gases empujan al avión hacia delante.

Los turbo reactores más modernos impulsan hacia atrás no sólo los gases de combustión, sino que utilizan un ventilador gigante que, movido por una turbina accionada con los gases calientes, impulsan hacia atrás una gran cantidad de aire frío. Se les conoce como turbofans.



El cohete es impulsado por los gases que expulsa.

V

- A.27.-** a) ¿Por qué pueden despegar verticalmente los helicópteros? También hay unos aviones, los Harrier, que tienen despegue vertical, ¿cómo lo hacen?  
 b) ¿Funcionaría un helicóptero en la Luna? ¿Por qué? ¿Funcionaría un cohete en la Luna?

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

**1.** Un guisante seco disparado por una pajita de plástico, tiene una masa de 2 g. Si la fuerza ejercida sobre el guisante es 0,30 N durante la décima de segundo que permanece en la pajita, calcula el impulso ejercido sobre el guisante. ¿Cuál es su rapidez al salir de la pajita?

$$I = 0,03 \text{ N}\cdot\text{s}; v = 15 \text{ m/s}$$

**2.** Un proyectil de 100 g se incrusta en un bloque de madera de 10 kg que se encuentra parado sobre un plano horizontal. La rapidez del bloque después de incrustarse la bala es de 4 m/s. Calcula la rapidez inicial del proyectil suponiendo que no existe rozamiento entre el bloque y el plano.

$$v_b = 404 \text{ m/s}$$

**3.** Un helicóptero de 5000 kg acelera hacia arriba a  $0,50 \text{ m/s}^2$ , mientras eleva un coche de 2000 kg. (Toma el valor de  $g = 10 \text{ N/kg}$ )

- a) ¿Qué fuerza ascendente ejerce el aire sobre las palas del helicóptero?  
 b) ¿Qué fuerza deben hacer los cables sobre el coche para subirlo?  
 c) ¿Qué fuerza deben hacer los cables sobre el coche si lo suben con velocidad constante de 7 m/s? ¿Es igual que en el apartado b)? Explica la respuesta.

$$\text{a) } \mathbf{F} = 73500 \text{ j N}; \text{ b) } \mathbf{F} = 21000 \text{ j N}; \text{ c) } \mathbf{F} = 20000 \text{ j N}$$



**4. a)** Calcula cuánto marcará una balanza de baño sobre la que estuviese subido un astronauta de 70 kg justo en el momento de arrancar el cohete con una aceleración de  $35 \text{ m/s}^2$ .

b) ¿Cuánto marcará cuando, una vez fuera de la atmósfera, se aleje con rapidez constante de 200 m/s?

$$\text{a) } \mathbf{F} = 3136 \text{ j N}; \text{ b) } \mathbf{F} = 686 \text{ j N}$$

P

5. Un balón de fútbol de 428 g tiene una velocidad  $\mathbf{v} = 20 \mathbf{i} + 14 \mathbf{j}$ . Cuál será su velocidad 2 s después, teniendo en cuenta que la atracción gravitatoria, supone una fuerza de  $-4,2 \mathbf{j}$  N.

$$\mathbf{v} = 20 \mathbf{i} - 5,6 \mathbf{j} \text{ m/s}$$

P

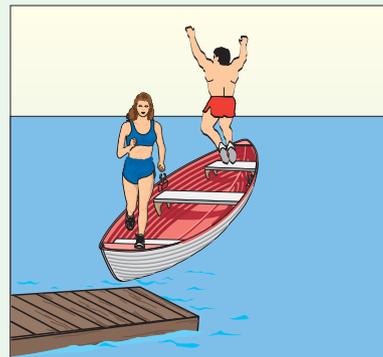
6. Una niña de 40 kg se pasea en una bicicleta de 10 kg con una rapidez de 8 m/s. En un momento dado, un amigo, de 50 kg, se sube en la parte de atrás. Suponiendo que el niño tenía una rapidez nula, calcula la rapidez de la «bici» después de subirse éste.

$$v = 4 \text{ m/s}$$

P

7. Una barca de 100 kg está en reposo. Juan, de 70 kg, salta desde la proa con una rapidez de 4 m/s y, justo en el mismo instante, Beatriz, de 50 kg, lo hace desde la popa con una rapidez de 3 m/s. Calcula la rapidez de la barca inmediatamente después de ambos saltos.

$$v = 1,3 \text{ m/s en el mismo sentido que Beatriz}$$



# 3

## FUERZAS DE ROZAMIENTO

El rozamiento aparece siempre que existe, o se intenta que exista, un desplazamiento **relativo** entre las superficies de dos cuerpos. La fuerza de rozamiento se opone siempre a ese movimiento relativo. El origen de esa fuerza está en las interacciones electromagnéticas que se dan entre los átomos que forman ambas superficies. Lo que llamamos fuerza de rozamiento es un valor medio estadístico de las «muchísimas» fuerzas que se ejercen los átomos de ambas superficies. Estas fuerzas no se pueden calcular individualmente, pero admitimos que si las superficies tienen el mismo grado de pulimento, etc., podemos considerar que el valor medio de todas las fuerzas interatómicas es constante.

Podemos clasificar las fuerzas de rozamiento en tres clases, según el tipo de situación en la que se presenten: el rozamiento por deslizamiento, el rozamiento que surge al moverse un cuerpo en el interior de un fluido y por último, el rozamiento por rodadura que no estudiamos en este curso.

### 3.1 Rozamiento por deslizamiento

P

Denominamos así al que surge cuando queremos desplazar un cuerpo cuya superficie está en contacto con la de otro cuerpo. En estos casos, aparece una fuerza cuyo sentido es contrario al de ese movimiento y cuyo valor depende de la naturaleza de las dos superficies y de la fuerza normal entre ambas.

$$F \leq \mu N$$

V

La fuerza normal  $N$ , es el módulo de las fuerzas que se ejercen entre sí los dos cuerpos cuya dirección es perpendicular a las dos superficies en contacto;  $\mu$  se conoce como **coeficiente de rozamiento** y su valor depende del tipo de superficie. Los valores de  $\mu$  de la tabla son sólo indicativos pues el coeficiente de rozamiento depende de si la superficie está pulimentada, mojada, etc.

No debemos considerar las fuerzas de rozamiento como fuerzas fundamentales, del tipo de las gravitatorias o electromagnéticas. El origen del rozamiento

Algunos de valores de $\mu$	
madera sobre madera	0,40
madera encerada sobre nieve	0,14
metal sobre metal (lubricado)	0,15
acero sobre acero (sin lubricar)	0,60
goma sobre hormigón	0,90
cojinetes de bolas lubricadas	0,01
articulaciones sinoviales	0,01

son las fuerzas electromagnéticas entre los átomos de las superficies en contacto. La expresión  $F \leq \mu N$  para calcular el rozamiento es experimental y aproximada y, cuanto mejores son las medidas, comprobamos que se cumple peor. Sin embargo, las leyes fundamentales (ley de Newton o ley de Coulomb), se cumplen tanto mejor cuanto más exactas son las medidas.

En ocasiones se diferencia entre **rozamiento estático** (cuando no hay desplazamiento de un cuerpo sobre el otro) y **rozamiento dinámico** (cuando se produce desplazamiento). En esos casos, se habla de un coeficiente de rozamiento estático y de un coeficiente de rozamiento dinámico.

P

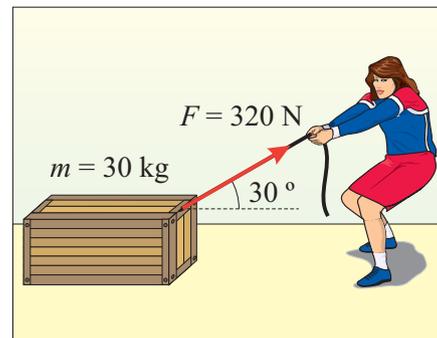
**A.28.-** Un cuerpo de 20 kg está en reposo sobre una superficie horizontal, siendo el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y la superficie de 0,4. Calcula la fuerza de rozamiento y la aceleración del cuerpo en los casos siguientes:

- El cuerpo está en reposo y no se le empuja.
- Se le empuja con una fuerza horizontal de 20 N.
- Se le empuja con una fuerza horizontal de 90 N.
- El cuerpo se desliza sobre el plano horizontal con velocidad constante.
- Compara la fuerza mínima para poner el cuerpo en movimiento con la fuerza mínima necesaria para levantarlo.
- ¿Cuál sería la fuerza mínima necesaria para poner el cuerpo en movimiento si el coeficiente de rozamiento con el suelo fuese nulo?

P

**A.29.-** a) Identifica las fuerzas que actúan sobre la caja representada en la figura.

- Si el coeficiente de rozamiento entre el suelo y la caja es 0,2, calcula la fuerza de rozamiento entre ambos cuerpos.
- Calcula la aceleración con la que se moverá la caja.
- Mantenemos el valor de la fuerza con la que tiramos de la caja, pero vamos aumentando el ángulo: ¿cómo cambia la componente de la fuerza en sentido horizontal?, ¿cómo lo hace la fuerza normal entre el suelo y la caja?, ¿y la fuerza de rozamiento?



Cuando tiramos o empujamos a un cuerpo en un plano horizontal hay que tener en cuenta:

\* Si hay desplazamiento de un cuerpo sobre el otro el valor de la fuerza de rozamiento es el máximo posible ( $\mu N$ ), que consideramos constante.

\* Si no hay desplazamiento de un cuerpo sobre el otro:

a) Si la componente horizontal de la resultante de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es menor que el valor máximo de la fuerza de rozamiento, la fuerza de rozamiento es igual a la componente horizontal de la suma de todas las fuerzas.

$$\text{Si } \Sigma F_{\text{horizontal}} < \mu N \text{ entonces la } F_{\text{rozamiento}} = \Sigma F_{\text{horizontal}}$$

b) Si la componente horizontal de la suma de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es mayor que el valor máximo de la fuerza de rozamiento, la fuerza de rozamiento es igual al valor máximo posible ( $\mu N$ ).

$$\text{Si } \Sigma F_{\text{horizontal}} > \mu N \text{ entonces la } F_{\text{rozamiento}} = \mu N$$

En este último caso, la acción de la suma de las fuerzas pondrá al cuerpo en movimiento con la aceleración que le corresponda.

\* Si no existe desplazamiento de un cuerpo sobre el otro ni existe fuerza que tienda a desplazar un cuerpo sobre el otro, la fuerza de rozamiento es nula.



### 3.16

Puede utilizarse para estudiar la fuerza de rozamiento y la aplicación de la segunda ley de la Dinámica en una situación sencilla. Puede modificarse la fuerza que se ejerce sobre el cuerpo, el coeficiente de rozamiento, la masa del cuerpo, incluso el valor del campo gravitatorio.

**A.30.-** Si te fijas en los valores de los coeficientes de rozamiento entre goma y suelo, ¿cuál será el valor máximo de la aceleración de frenado de un coche? ¿Por qué la Dirección General de Tráfico aconseja que la distancia de seguridad entre automóviles aumente cuando la carretera está mojada?

P

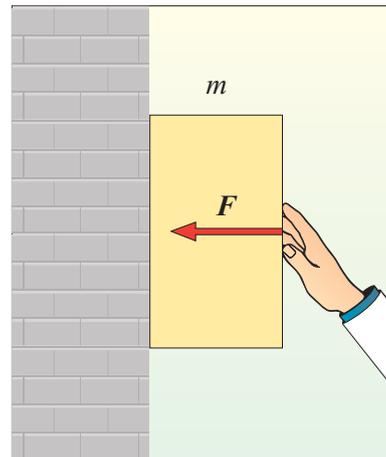
**A.31.-** En una empresa se dejan caer paquetes de 10 kg por una rampa que mide 4 m y está inclinada  $20^\circ$  sobre la horizontal siendo el coeficiente de rozamiento entre el suelo y el paquete 0,2.

- a) Calcula la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un paquete.
- b) Calcula la rapidez con la que llegará al final de la rampa un paquete que se supone que parte del reposo.
- c) ¿Influirá la masa del paquete en la velocidad con la que llegue al final de la rampa? Explica la respuesta.

P

**A.32.-** Se empuja a un bloque contra una pared vertical con una fuerza  $F$  y se observa que permanece en reposo, sin deslizar ni hacia arriba ni hacia abajo, tal como muestra el dibujo.

- a) Dibuja un diagrama que muestre las fuerzas sobre el bloque; otro que muestre las que actúan sobre la pared en la región en contacto con el bloque y un tercero que muestre la Tierra y sus interacciones con el bloque. Describe cada fuerza de la manera habitual e identifica varias parejas de fuerzas en el sentido de la tercera ley.
- b) ¿Por qué no cae el bloque hacia el suelo? Escribe una ecuación que establezca el valor mínimo de  $F$  para que el bloque no caiga.
- c) Supón que  $m$  vale 15 kg y que el coeficiente de rozamiento es 0,4. Calcula el valor mínimo de  $F$  para que el cuerpo no caiga.



### ¿Puede ayudar el rozamiento al movimiento?

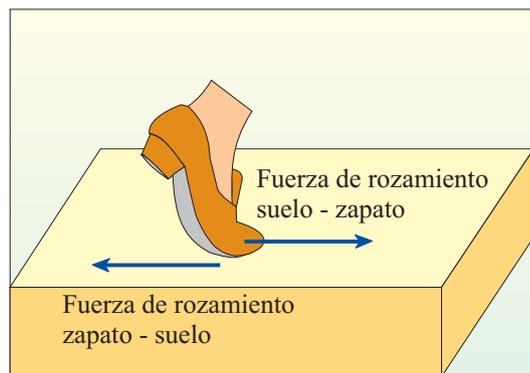
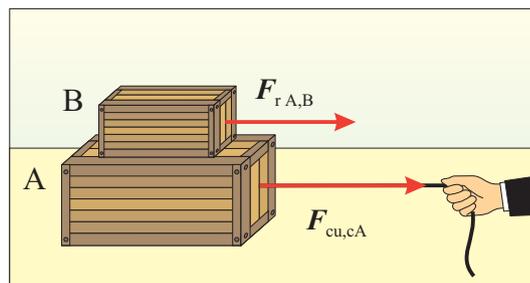
El rozamiento parece que siempre se opone al movimiento. En muchas ocasiones es cierto que lo que interesa es disminuir al máximo el rozamiento. Para ello se pulimentan muy bien las superficies, se utilizan lubricantes, etc. Pero hay casos, como ocurre al caminar o en el movimiento de un coche, que explicaremos más adelante, en los que sin rozamiento no podríamos poner en movimiento a un cuerpo que está en reposo.

Si arrastramos la caja A, la caja B que hay encima también se mueve en la misma dirección y sentido. ¿Qué fuerza es la que ha puesto en movimiento a la caja B? Sólo puede ser la fuerza de rozamiento entre ambas superficies. Esa fuerza de rozamiento dificulta el movimiento relativo entre las dos superficies, pero tiene como consecuencia que se mueva la caja de arriba en el mismo sentido que la caja de abajo.

El rozamiento es una fuerza que **siempre se opone al movimiento relativo** de las dos superficies entre las que hay rozamiento. Por eso, el rozamiento dificulta el movimiento. Pero en ocasiones, la existencia del rozamiento posibilita el movimiento del cuerpo en su conjunto.

Otras situaciones muy importantes en las que las fuerzas de rozamiento inciden positivamente son las acciones de caminar o de correr.

Al andar intentamos mover la pierna hacia atrás, pero el rozamiento del suelo-zapato impide ese movimiento de deslizamiento del zapato sobre el suelo. La fuerza de rozamiento que aparece empuja al zapato (pie) y, conjuntamente con el pie, a todo el cuerpo hacia adelante. En este caso el rozamiento nos ayuda a movernos. Aunque generalmente no nos damos cuenta, su importancia es fundamental ya que sin ese rozamiento no podríamos andar (piensa en lo difícil que es hacerlo sobre hielo); cuando «resbalamos», la fuerza de rozamiento no es lo suficientemente grande para poder avanzar. Es el suelo el que nos hace movernos hacia adelante, y no nosotros solos como podríamos pensar.



P

**A.33.-** Dibuja las fuerzas que ejerce el suelo sobre una persona que comienza a andar.

Cuando queremos andar con rapidez constante la situación es algo diferente. En ese caso, no queremos que el suelo nos empuje pues eso nos llevaría a aumentar la rapidez, ni tampoco queremos que el suelo nos frene. En esas situaciones, ponemos el pie de tal manera que lo apoyamos verticalmente, de forma que al no existir movimiento relativo entre el zapato y el suelo ni fuerza que intente desplazar el zapato respecto al suelo, la fuerza de rozamiento suelo-zapato no existe.

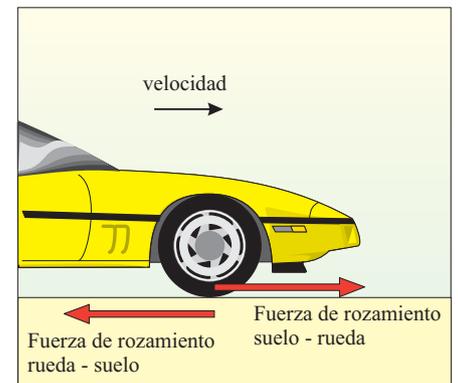
Lo anterior se puede poner de manifiesto si intentamos correr sobre un suelo en el que queden reflejadas nuestras pisadas. Si queremos aumentar de velocidad veremos cómo las huellas son diferentes a cuando queremos movernos con rapidez constante.

### La carretera mueve a los coches

Cuando existen «elementos motrices», como es el caso de las ruedas de un coche, el rozamiento se opone al movimiento relativo de la rueda sobre la superficie de la carretera, y dado que los puntos de la rueda se mueven «hacia atrás» con respecto a la carretera, el rozamiento con ésta empuja en sentido contrario, es decir, hacia adelante. Eso sólo ocurre en las «ruedas motrices», es decir aquellas que son movidas por la acción del motor del coche.

La importancia del efecto del rozamiento puede observarse muy claramente cuando un coche patina, bien en barro o en arena. El movimiento de las ruedas motrices no sirve para hacer avanzar al coche y, si te has fijado, las ruedas echan hacia atrás el barro o la arena al girar, pero como no hay fuerza de rozamiento suficiente el coche no avanza.

En ese sentido, vemos que no es suficiente con que el motor haga girar las ruedas para que el coche avance. Se necesita del concurso de la carretera o del suelo que empuje al coche para permitir que se mueva.



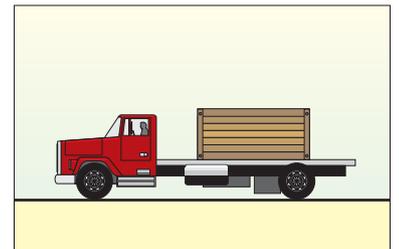
P

**A.34.-** Un camión transporta una caja de la forma indicada en la figura. En todo el ejercicio supondremos que no hay rozamiento con el aire.

a) Supongamos que no hay fuerza de rozamiento caja-camión. ¿Podrá trasladar el camión la caja si va a velocidad constante? ¿Qué ocurrirá cuando el camión acelere aumentando su velocidad? ¿Qué ocurrirá cuando el camión frene disminuyendo su velocidad?

b) Supongamos que puede existir fuerza de rozamiento caja-camión. ¿Habrá fuerza de rozamiento cuando la velocidad sea constante?, ¿y mientras aumenta la velocidad del camión?, ¿y cuando frene?

En aquellos casos que sean afirmativos, da una expresión que permita calcular el valor de la fuerza de rozamiento. ¿Tiene algún límite ese valor? Explica las respuestas en todos los casos.



## 3.2 Rozamiento en el interior de fluidos

Cuando un cuerpo se desplaza en el interior de un fluido (sea líquido o gas) aparece siempre una fuerza de rozamiento que tiende a frenarlo, es decir, que tiene sentido contrario al del movimiento. ¿Has notado cómo te empuja hacia atrás el aire cuando vas montado en una motocicleta? Esa fuerza depende de:

a) La velocidad relativa del cuerpo respecto al fluido. Así, cuando vas en moto, notas que el empuje del aire va creciendo conforme aumenta la velocidad.

b) La forma del cuerpo que se mueve en el fluido. Para disminuir ese rozamiento los conductores de motos o bicis adoptan una forma «aerodinámica» para ofrecer la mínima resistencia al aire. Los coches, aviones o barcos son diseñados de forma que ofrezcan la mínima resistencia a su avance.

P

**A.35.-** a) Dibuja las fuerzas que actúan sobre un coche que marcha por una carretera horizontal a velocidad constante.

b) Los aviones que han de «aterrizar» en muy poca distancia, tal como ocurre con los que lo hacen sobre un portaviones, utilizan una especie de «paracaídas» trasero. Explica para qué se emplea.

Para un vehículo la fuerza de rozamiento con el aire es:

$$F_r = 0,5 \rho C_x A v^2$$

$\rho$  es la densidad del aire.

$C_x$  es el coeficiente de penetración aerodinámica. Depende de la forma del vehículo. Los coches con mejor perfil aerodinámico tienen  $C_x$  cercanos a 0,3.

$A$  es la superficie frontal del coche. Puede oscilar entre 1,6 y 2,0 m<sup>2</sup>.

$v$  es la rapidez relativa del coche respecto al aire. A la velocidad del coche respecto a la carretera debemos sumar o restar la velocidad del viento (según sopla en contra o a favor del avance del coche).

### Análisis del movimiento de caída con rozamiento

En la caída libre (en la superficie terrestre) todos los cuerpos caen con la aceleración de 9,8 m/s<sup>2</sup>, aceleración que es independiente de la masa del cuerpo que cae y del material de que esté constituido. Esto sólo es rigurosamente correcto cuando se supone que la caída se produce en ausencia de aire o, al menos, sin tener en cuenta la presencia del aire. Si se tiene en cuenta el rozamiento que ejerce el aire sobre cualquier cuerpo que caiga en su interior, la aceleración de caída será diferente de un cuerpo a otro. Podemos escribir que:

$$a = \frac{mg + F_{roz}}{m}$$

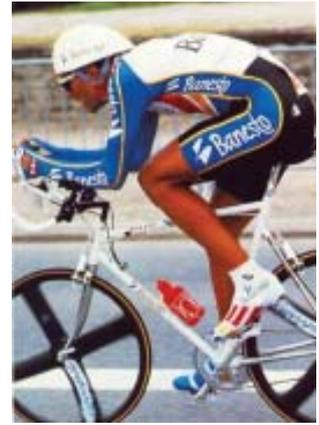
Dado que la fuerza de rozamiento tiene sentido contrario al de la fuerza de atracción de la Tierra sobre el cuerpo, la suma de ambas fuerzas será menor que el peso, por lo que la aceleración de caída será menor que  $g$ .

**A.36.-** Un cuerpo que ofrece resistencia al aire cae desde mucha altura.

a) ¿Qué fuerzas actúan sobre el cuerpo al principio, cuando su velocidad es muy pequeña? ¿Qué valor aproximado tiene la aceleración en ese instante?

b) ¿Qué fuerzas actúan sobre el cuerpo cuando haya bajado una cierta distancia y su velocidad haya aumentado? Si en ese instante la fuerza de rozamiento es 0,9 veces la fuerza peso, ¿cuál es la aceleración?

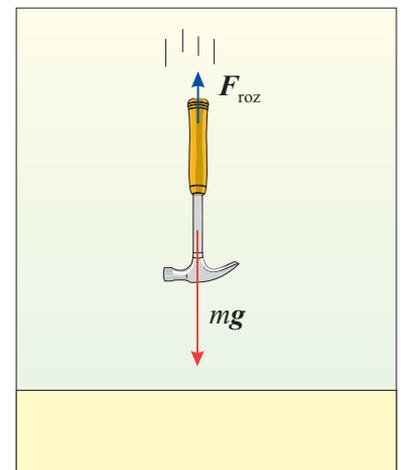
c) ¿Qué ocurre a partir del instante en el que la fuerza de rozamiento sea igual al peso del cuerpo?, ¿se para el cuerpo?



Los ciclistas adoptan una postura aerodinámica en las carreras contrarreloj.



Una lanzadera espacial en el momento de aterrizar.



Cuando un cuerpo cae desde una altura suficiente va aumentando su rapidez hasta que la fuerza de rozamiento con el aire es igual a la fuerza de atracción gravitato-

ria. A partir de ese momento, dado que es nula la suma de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, éste seguirá cayendo con rapidez constante.

Se denomina **velocidad límite** a la máxima velocidad que alcanza un cuerpo que cae cuando existe rozamiento con el medio en el que se desplaza. Cuando se alcanza la velocidad límite, la fuerza de rozamiento iguala a la fuerza que produce la caída del cuerpo.

La velocidad límite de las gotas de lluvia está próxima a los 7 m/s, algo parecido ocurre con la velocidad con la que llegan al suelo los paracaidistas.

### ¿Por qué no caen las nubes?

Las nubes están formadas por pequeñas gotas de agua. Cada gotita puede tener un diámetro de 0,01 mm. Las gotitas deberían caer, ya que su densidad es mayor que la del aire, pero dado su pequeño tamaño y la existencia de fuerzas de rozamiento con el aire, la velocidad límite de caída es muy pequeña, unos 5 milímetros cada hora. Aunque sólo fuese por eso, ya sería suficiente para mantener durante mucho tiempo la nube en su posición ya que en caer un metro tardaría más de ocho días.

Pero además, en las nubes ocurren otros procesos. Por ejemplo, el fenómeno de condensación para formar las pequeñas gotitas de agua, da lugar al calentamiento del aire de la nube y hace que ascienda. Si el aire que sube está seco, (contiene baja proporción de vapor de agua), ese movimiento del aire hacia arriba ayuda a mantener las gotas. Si el aire que sube está húmedo, las gotas van aumentando de tamaño y aumenta la velocidad con la que caen. En su camino hacia abajo, capturan nuevas gotitas de forma que siguen creciendo hasta que la velocidad de caída es suficiente para producir la lluvia.



Las nubes están formadas por pequeñas gotas de agua.

## 4 FUERZAS ELÁSTICAS

Hablamos de **elasticidad** cuando nos referimos a la propiedad que tienen los cuerpos de recuperar su forma inicial cuando se les deforma: un muelle que se estira o comprime, una rama de un árbol que se dobla por el viento y recupera su forma, una goma elástica que se estira, etc.

Si la fuerza que actúa sobre el cuerpo logra deformarlo permanentemente, diremos que se ha superado el **límite de elasticidad** que tiene ese cuerpo. Por ello, sólo consideramos elásticos a los cuerpos mientras recuperen su forma inicial al cesar la fuerza que los deforma.

La elasticidad es una propiedad importante por el uso que de ella se hace al construir diversos objetos: muelles usados como amortiguadores en coches y colchones, zapatillas de deporte y suelos elásticos para evitar lesiones en diferentes deportes, puentes, edificios, etc.

De forma más cuantitativa definimos a un cuerpo elástico como el que cumple que el cociente entre la fuerza que se ejerce sobre él y la deformación que le produce es constante. Esta definición está recogida en la **ley de Hooke**:

$$F = k \Delta l$$

Así escrita nos dice que la fuerza necesaria para producir una deformación a un cuerpo elástico es directamente proporcional a la deformación producida.



Un muelle es un cuerpo elástico



### 3.17

Es una buena ilustración de la ley de Hooke. Puede determinarse la constante elástica y luego usar el dinamómetro para medir la masa de un cuerpo.

A la constante de proporcionalidad  $k$  se le llama **constante elástica** o **contante de recuperación**. Depende del material elástico y de cómo esté construido el cuerpo. Si se trata de un muelle dependerá de su forma, del material del que esté hecho, del grosor, del tamaño de cada espira, etc. Su valor nos indicará la fuerza necesaria para alargar o comprimir un muelle una unidad de longitud. Si  $k$  es grande como ocurre en las suspensiones de un vagón de tren, el muelle es «muy duro», siendo difícil estirarlo o acortarlo; si  $k$  es pequeño como ocurre con el muelle de un bolígrafo o con los de un cochecito de bebé, el muelle es «muy blando».

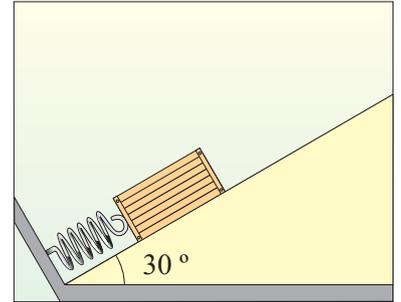
P

**A.37.-** Un muelle colocado verticalmente sobre una mesa tiene una longitud de 30 cm y una constante elástica de 2000 N/m. Lo comprimimos hasta que su longitud es de 22 cm y lo mantenemos sujeto en esa posición.

- ¿Qué fuerza se tiene que hacer sobre el muelle para deformarlo así?
- Colocamos encima un cuerpo de 4 kg y soltamos el muelle. Calcula la fuerza que ejerce el muelle sobre el cuerpo y la aceleración de éste en ese instante.

P

**A.38.-** Sobre un plano inclinado  $30^\circ$  se coloca un muelle cuya constante elástica es de 500 N/m, y un cuerpo que lo comprime cuya masa es de 2000 g, tal como indica la figura. Suponiendo un rozamiento despreciable, calcula la deformación del muelle si la situación es de equilibrio.



## 5

## DINÁMICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR

El movimiento circular cumple las mismas leyes de la dinámica que el rectilíneo. Si le dedicamos un apartado es únicamente para insistir en aquellos aspectos que le son específicos y que podrían presentar alguna dificultad en su estudio.

V

### Las fuerzas en el movimiento circular uniforme

P

En un movimiento circular uniforme no existe aceleración tangencial, pero sí existe aceleración normal, puesto que hay cambio de dirección. Por ello, es necesario que la suma de las fuerzas esté dirigida hacia el centro, para que pueda producir esa aceleración normal. Como en todos los movimientos, es aplicable la segunda ley de la dinámica que podemos expresarla por la ecuación:

$$\Sigma F_n = m a_n; \quad \Sigma F_n = m \frac{v^2}{r} \mathbf{n}$$

A veces, se llama fuerza centrípeta a la componente de la suma de las fuerzas dirigida hacia el centro. Pero no debe entenderse que existe una fuerza especial, además de la  $\Sigma F$ , que corresponda a esa fuerza centrípeta. De hecho, todos los análisis de estos movimientos pueden hacerse sin utilizar ese término.

P

AC



3.18

Un cuerpo se mueve en un plano vertical en movimiento circular. Se muestra el peso y la fuerza que ejerce la tensión del hilo.

### EJEMPLO

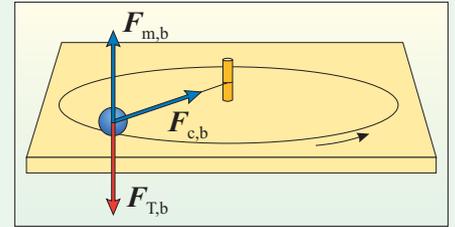
Una bola de 200 g gira atada a un eje colocado en el centro. Para simplificar el problema supondremos que no hay rozamiento de la bola con la superficie de la mesa que la sostiene. La cuerda mide 30 cm y la bola se mueve con rapidez constante de 6 m/s.

- Identifica y dibuja las fuerzas que actúan sobre la bola.
- ¿Qué fuerza hace la cuerda sobre la bola?
- ¿Qué ocurre si aumentamos mucho la velocidad de la bola?

a) Sobre la bola actúa la fuerza que hace la mesa, la fuerza que hace la Tierra, y la fuerza que hace la cuerda si suponemos que no hay rozamiento entre la bola y la mesa o el aire. Están dibujadas en la figura.

En la dirección vertical la bola está en equilibrio, luego  $\Sigma F_y = 0$ . Por lo tanto, el valor de la fuerza que hace la mesa sobre la bola será 1,96 N, de igual valor al peso de la bola y de sentido contrario.

La suma de todas las fuerzas es igual a la fuerza que hace la cuerda sobre la bola:  $\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{F}_{c,b}$ .



b) La bola tiene un movimiento circular uniforme. La aceleración que tiene es sólo la componente normal, cuyo valor en este caso es:

$$a_n = \frac{v^2}{r} \mathbf{n} = \frac{6^2}{0,3} \mathbf{n} = 120 \mathbf{n} \text{ m/s}^2$$

Para producirla se necesita, según la segunda ley de la dinámica, que la suma de todas las fuerzas valga:

$$\Sigma \mathbf{F} = m \mathbf{a} = 0,2 \cdot 120 \mathbf{n} = 24 \mathbf{n} \text{ N}$$

Puesto que la  $\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{F}_{c,b}$  eso permite decir que la fuerza que hace la cuerda sobre la bola debe ser 24 n N, lógicamente dirigida hacia el centro de la trayectoria.

c) Si aumentamos la velocidad de la bola, y mantenemos el radio de la trayectoria, la aceleración normal debe ser mayor. Eso supone que la fuerza necesaria para producir esa aceleración será mayor. Por lo tanto, la cuerda tiene que hacer sobre la bola una fuerza mayor.

Pero esa situación no puede aumentar indefinidamente ya que la cuerda puede soportar una fuerza límite antes de romperse. Por lo tanto, si la velocidad de la bola supera cierto valor, la cuerda se romperá y a partir de ese instante la bola seguirá en línea recta.

**A.39.-** Un automóvil de 1400 kg circula por una curva de 300 m de radio con una rapidez constante de 72 km/h.

a) ¿Cuál debe ser el módulo de la suma de las fuerzas que actúan sobre el automóvil?, ¿cuál debe ser su dirección y sentido?

b) Haz un análisis de las fuerzas que actúan sobre él de forma que se justifique el valor de la suma.

c) ¿Por qué no podemos «tomar la curva» si la rapidez es muy alta? Si el coeficiente de rozamiento entre ruedas y suelo es 0,8, calcula la rapidez máxima con la que se puede tomar esa curva supuesta sin peralte.

**A.40.-** a) ¿Se corresponde siempre la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo con una fuerza real, identificable a partir de una interacción concreta en un movimiento circular uniforme?, ¿y si cambia la rapidez?

b) Tiene siempre la suma de todas las fuerzas la misma dirección del movimiento? Pon algún ejemplo.

Cuando la  $\Sigma \mathbf{F}$  no tiene la misma dirección del movimiento, podemos considerar que esa fuerza es la suma de dos componentes, una en la misma dirección del movimiento, que produce una aceleración tangencial y por lo tanto modifica la rapidez del móvil, y otra perpendicular a la dirección del movimiento, que provocará una aceleración normal cuyo efecto será cambiar la dirección del movimiento.

**A.41.-** El dibujo representa la trayectoria de una bola de golf.

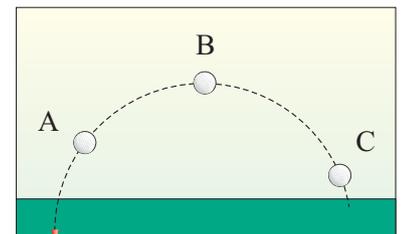
a) Dibuja en cada uno de los puntos la **suma de las fuerzas** que actúan sobre la bola (no tengas en cuenta la fuerza de rozamiento). De acuerdo con lo anterior, dibuja la aceleración total de la bola en cada punto.



### 3.19

Se muestra el peso, la fuerza debida a la tensión y la fuerza total ejercida sobre la bola de un péndulo.

V



b) En otro gráfico, dibuja las componentes de la suma de las fuerzas en las direcciones tangente a la trayectoria y normal a la trayectoria en cada punto. Dibuja también la aceleración tangencial y normal de la bola.

c) ¿Qué ocurrirá con la rapidez de la bola en cada una de las posiciones señaladas?, ¿y con la dirección de la velocidad de la bola?

**A.42.-** En algunos parques de atracciones existe una atracción denominada «rizo de la muerte». Consiste en una vagoneta capaz de describir una circunferencia completa de forma que, en la parte superior el viajero está cabeza abajo.

a) ¿Por qué no se cae la vagoneta cuando está en la parte superior?

b) Si el radio de la órbita es 10 m, la masa de la vagoneta de 50 kg y su rapidez en el punto más alto es 12 m/s, ¿qué fuerza hace el raíl sobre la vagoneta?

c) ¿Cuál será el valor mínimo de rapidez que debe llevar la vagoneta para que pueda describir la circunferencia completa.



V

V

### Fuerza hacia el centro frente a «la apariencia del sentido común»

Como ocurre en muchos otros casos, una observación superficial del movimiento circular puede dar lugar a una interpretación errónea del mismo. Así, una de las ideas incorrectas sería pensar que en un movimiento circular aparece una «fuerza hacia fuera», en lugar de la necesaria fuerza hacia dentro.

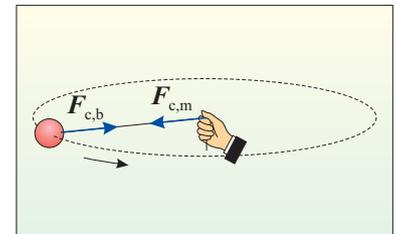
Efectivamente, si hacemos girar una piedra atada al extremo de una cuerda, «notamos» que la cuerda tira de nosotros hacia fuera. Esto es cierto, pero no lo es la conclusión precipitada a la que algunos llegan de la siguiente forma: «*si notamos esa fuerza hacia fuera es porque sobre la piedra también actúa una fuerza hacia fuera (fuerza centrífuga la llaman algunos).*»

La conclusión anterior es incorrecta. Sobre la piedra no actúa ninguna «fuerza hacia fuera» sino que, al contrario, sobre la piedra actúa una «fuerza hacia dentro» que le permite girar; si esa fuerza no se aplicase sobre la piedra, ésta se movería en línea recta. Ahora bien, si la cuerda hace sobre la piedra una «fuerza hacia dentro», la piedra hace sobre la cuerda una «fuerza hacia fuera» (tercera ley) que, transmitida por la cuerda, nos hará sentir que tira de nosotros hacia fuera.

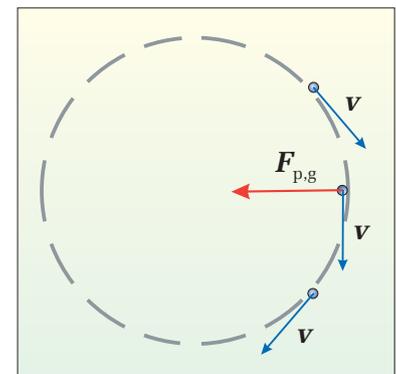
También da lugar a interpretaciones erróneas lo que ocurre cuando en un coche o un autobús tomamos una curva a gran velocidad. Tenemos la sensación de que hay una fuerza que nos empuja «hacia fuera» de la curva. Sin embargo, tal fuerza no existe. La dirección de nuestro movimiento sería siempre la misma (una trayectoria recta) si no hubiera una fuerza que cambiara la dirección. Esa fuerza, en este caso de rozamiento, debe hacerla algo exterior a nosotros e interpretamos erróneamente que esa fuerza es necesaria para contrarrestar una fuerza dirigida hacia fuera, fuerza que nos inventamos pero que no existe realmente.

### ¿Por qué se seca la ropa al centrifugar?

La «cuba» de una lavadora es un recipiente metálico agujereado. Las paredes tienen la rigidez suficiente para empujar la ropa hacia dentro y permitir que la ropa gire. Dado que los agujeros son pequeños, la ropa no puede salirse por ellos, pero las gotas de agua cuando coinciden con algún agujero siguen su movimiento en línea recta y se salen de la cuba, con lo que dejan de estar en contacto con la ropa. Las gotas que se ponen en contacto con la cuba se deslizan resbalando hasta «caer» en algún agujero y en ese momento salen de la cuba.



La fuerza que actúa sobre la bola está dirigida hacia el centro.



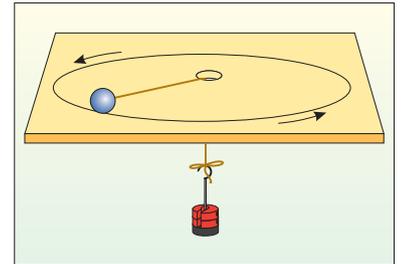
Las gotas de agua resbalan por la cuba hasta que coinciden con un agujero.

¿Por qué quedan gotas mojando la ropa? Porque las fuerzas de adhesión entre el tejido y la gota son lo suficientemente grandes para permitir girar a esas gotas de agua. Si aumentara la velocidad de giro de la «cuba» llegaría un momento en el que la fuerza de adhesión gota de agua-ropa no sería suficiente como fuerza centrípeta necesaria para el giro de la gota, por lo que se desprendería la gota siguiendo en línea recta. Desprendida de la ropa, la gota saldría de la cuba cuando coincidiera con alguno de los agujeros.

### ¿Qué ocurre cuando $\Sigma F$ no es igual a $(mv^2)/R$ ?

Imagina que un cuerpo gira con movimiento circular uniforme, apoyado en una mesa sin rozamiento. La fuerza necesaria para producir la aceleración normal se ejerce a través de una cuerda de la que cuelga, en el extremo opuesto, un portapesas en la que hay dos pesas iguales.

¿Qué ocurre si en un instante dado colocamos otra pesa en el portapesas? En ese instante, la fuerza que tira del cuerpo hacia el centro es mayor de la necesaria para mantener ese movimiento circular. El cuerpo se acerca hacia el centro, de forma que ya no se trata de un movimiento circular, sino espiral.



**A.43.-** a) Analiza qué ocurriría si en lugar de haber puesto una pesa más hubiésemos quitado una pesa del portapesas.

b) Discute si la proposición siguiente es correcta o incorrecta, señalando en este caso en qué consiste la incorrección: «*la existencia de un movimiento circular produce una fuerza centrípeta cuyo valor es  $mv^2/r$* ».

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

P

1. Un coche cuya masa es 700 kg lleva un movimiento representado por la ecuación  $e = 10t + 0,5t^2$  (m).

a) Calcula el módulo de la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el coche si el movimiento es rectilíneo.

b) Si fuese un movimiento circular de 200 m de radio, ¿cuál sería el módulo de la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el coche en el instante  $t = 10$  s?

a)  $\Sigma F = 700$  N; b)  $\Sigma F = 1565,2$  N

P

2. Un cuerpo de 1 kg se encuentra sobre el plano de un giradiscos.

a) Si hacemos girar el cuerpo atado al eje del plato por una cuerda de 20 cm, ¿qué rapidez máxima podría tener en su giro si suponemos que la cuerda soporta 60 N sin romperse?

b) Supongamos ahora que el cuerpo no está sujeto por la cuerda, sólo está sobre el plato. Si el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y el plato es 0,6 y el cuerpo se encuentra a 20 cm del eje de giro ¿cuál sería la rapidez máxima a la que podría girar el cuerpo?

c) ¿Influiría en esa rapidez máxima la masa del cuerpo?, ¿por qué?

a)  $v_{\text{máxima}} = 3,46$  m/s; b)  $v_{\text{máxima}} = 1,1$  m/s; c) No

V

P

3. Sobre una superficie horizontal se lanza un cuerpo de 10 kg con una rapidez de 6 m/s. El coeficiente de rozamiento entre el suelo y el plano es 0,4 y  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.

a) Calcula la rapidez que tendrá el cuerpo cuando haya recorrido 2 m.

b) En ese momento comienza a subir por un plano inclinado 10° sobre la horizontal, ¿qué distancia recorrerá sobre el plano en el movimiento de subida?

c) Una vez que ha llegado a la máxima altura ¿volverá a caer o se quedará quieto en esa posición? ¿Cuánto vale la fuerza de rozamiento en ese momento?

a)  $v = 4,4$  m/s; b)  $d = 1,7$  m; c) se queda quieto;  $F_r = 17,36$  N paralela al plano hacia arriba

4. ¿Cuál es la aceleración máxima que puede experimentar un coche en un suelo horizontal, si el coeficiente de rozamiento entre los neumáticos y el suelo es 0,55? ( $g = 10$  m/s<sup>2</sup>).

a)  $a = 5,5$  m/s<sup>2</sup>

1. Un coche que marcha con una rapidez de 100 km/h en una carretera recta frena con movimiento uniformemente acelerado, recorriendo una distancia 100 m antes de pararse.

- Calcula la rapidez inicial en m/s.
- Escribe unas ecuaciones que representen su movimiento.
- Dibuja la gráfica  $v-t$  y calcula el tiempo que tardará en detenerse.
- El tiempo que tarda en recorrer los primeros 50 m ¿será igual a la mitad del tiempo que tarda en recorrer los 100 m? Explica cualitativamente la respuesta y compruébalo realizando los cálculos oportunos.

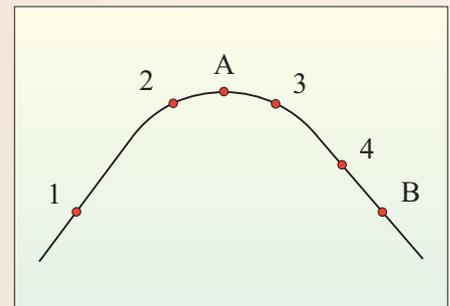
2. Indica si las siguientes frases son correctas y, en caso de que no lo sean, describe el error o errores cometidos:

- La rapidez puede calcularse siempre como el cociente entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en ello.
- La aceleración tangencial es siempre el cociente entre la rapidez de un cuerpo y el tiempo que lleva moviéndose.
- La distancia recorrida es siempre la diferencia entre la posición inicial y la final.
- Si en un momento determinado la rapidez de un cuerpo es nula también debe serlo la aceleración.
- La distancia recorrida en un movimiento uniformemente acelerado depende sólo de la aceleración y del tiempo que dure el movimiento.

3. Un atleta como Michael Jordan puede realizar un salto en el que eleva su centro de gravedad un máximo de 1,2 m de la posición normal. Calcula el tiempo que estará Jordan en el aire. ¿Es posible que, como dicen algunas veces los comentaristas, quede suspendido en el aire venciendo la ley de la gravitación?

4. Conduciendo un coche según la trayectoria de la figura, se mantiene constante la rapidez de 20 m/s hasta el centro de la curva (punto A). A partir de ese momento se aumenta la rapidez de manera uniforme, de tal modo que 4 s después, en el punto B, la rapidez es de 28 m/s. El radio de la curva es de 400 m. Por el punto 3 pasa 1 s después de pasar por A.

Calcula y representa la aceleración normal, la tangencial y la total en los puntos 1, 2, 3 y 4 de la figura.

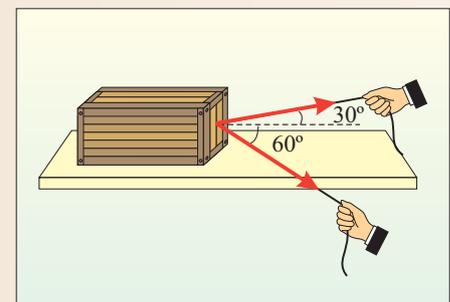


5. Lanzamos hacia arriba un objeto A con rapidez de 12 m/s desde una ventana que está a 18 m del suelo. En ese mismo instante se lanza otro objeto B desde el suelo con rapidez de 15 m/s. ¿Se encontrarán ambos objetos en el aire? Si es así, ¿a qué altura? ¿Cuál llegará antes al suelo? ¿Cuál será la velocidad de cada objeto al chocar con el suelo?

- Calcula la rapidez angular de la aguja del reloj que marca las horas. Exprésala en  $s^{-1}$  y en rpm.
- Si la aguja mide 2 cm, calcula el arco que recorre su extremo en media hora y el ángulo que barre. Realiza el mismo cálculo para un punto situado en el centro de la aguja. Analiza los resultados.

7. Desde lo alto de un edificio A, a 50 m del suelo, lanzamos una pelota horizontalmente hacia el edificio B que está en la otra acera, a 40 m del A.

- Deduce cuál debe ser la velocidad mínima con la que debe lanzarse la pelota para que golpee al edificio de enfrente antes de caer al suelo.
- Suponiendo que se lance con la velocidad anterior, calcula la velocidad total de la pelota 2 s después. Representa sobre un dibujo de la trayectoria de la pelota, la velocidad horizontal, vertical y total de la misma en el instante  $t = 2$  s.
- Si en el edificio B dejamos caer verticalmente otra pelota desde la misma altura y en el mismo instante que la que lanzamos desde el edificio A, ¿cuál se encontrará más cerca del suelo cuando  $t = 2$  s? Explica la respuesta.



8. Para arrastrar un cuerpo hay que tirar con una fuerza de 400 N en la dirección indicada por la línea de puntos. Si tiran dos personas tal como se ve en la figura, ¿qué fuerza debe hacer cada una, si queremos que no exista desplazamiento lateral de la caja?

9. ¿Por qué son más frecuentes las lesiones entre las personas que juegan al baloncesto en canchas de superficies rígidas, como el cemento, que entre aquellas que juegan en canchas de superficies flexibles, como las que tienen suelo de madera?

10. Una locomotora de 40000 kg arrastra dos vagones de 30000 kg por una recta. La fuerza de rozamiento que se opone al avance de cada vagón la suponemos igual a 6000 N. Supongamos que tiene una aceleración de  $0,2 \text{ m/s}^2$ .

a) Analiza las fuerzas externas que actúan sobre el sistema formado por la locomotora y los dos vagones. ¿Cuánto debe valer la suma de todas las fuerzas externas?

b) Describe algunas fuerzas interiores que estén actuando en el sistema. ¿Cuánto debe valer la suma de todas las fuerzas interiores? La fuerza que hace la locomotora sobre el primer vagón, ¿es interior o exterior al sistema formado por el tren completo? ¿Es interior o exterior si consideramos como sistema el primer vagón? Explica por qué.

c) ¿Qué fuerza debe hacer el primer vagón sobre el segundo para que se mueva con  $a = 0,2 \text{ m/s}^2$ ?

d) ¿Qué fuerza debe hacer la locomotora sobre el primer vagón para que se mueva con  $a = 0,2 \text{ m/s}^2$ ?

e) Calcula el impulso total ejercido sobre el primer vagón en 6 s. ¿Cuál será la variación del momento lineal del primer vagón en ese mismo tiempo? ¿Cuál será la velocidad final del vagón si para  $t = 0 \text{ s}$ , su rapidez era de  $8 \text{ m/s}$ ?

Supongamos ahora que todo el tren circula con rapidez constante de  $20 \text{ m/s}$ .

f) ¿Qué fuerza debe hacer la locomotora sobre el primer vagón? ¿Qué impulso total se ejerce sobre el primer vagón durante 10 s? ¿Cuál será la variación de la cantidad de movimiento de ese vagón en los 10 s? ¿Cuál será su velocidad final?

11. Calcula la fuerza que hace el cable de un ascensor de 1200 kg en cada una de las tres etapas siguientes:

a) Cuando el ascensor arranca para subir y aumenta su rapidez de 0 a  $1 \text{ m/s}$  en 2 s. (Toma  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).

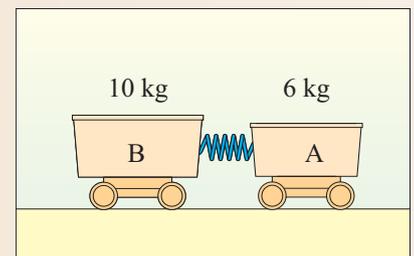
b) Cuando el ascensor sube con rapidez constante de  $1 \text{ m/s}$  durante 12 s.

c) Durante el segundo que tarda en detenerse.

d) ¿En cuál de las tres etapas es mayor el peligro de que se rompa el cable?

e) Calcula la distancia total recorrida por el ascensor en las tres etapas.

12. Dos vagonetas pequeñas están unidas por un muelle comprimido, estando todo el sistema en reposo. En un momento dado, se suelta el dispositivo que mantenía comprimido al muelle y éste se alarga empujando las vagonetas. Si la vagoneta de 10 kg sale despedida con una rapidez de  $12 \text{ m/s}$ , ¿cuál será la rapidez con la que saldrá despedida la vagoneta de 6 kg?

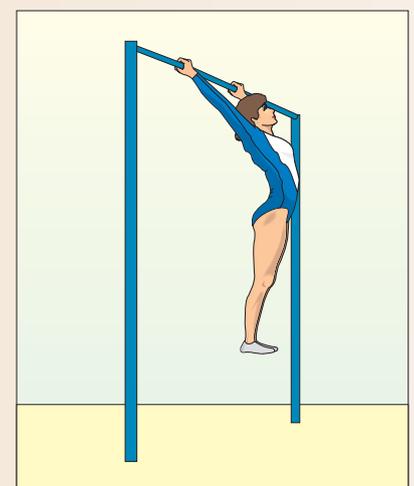


13. En las competiciones de gimnasia hay un ejercicio en el que una atleta ha de girar alrededor de una barra. Si la masa de la atleta es de 60 kg, y se puede considerar que su centro de masas está colocado a  $1,25 \text{ m}$  de la barra y que la rapidez del mismo en el punto más bajo de la trayectoria es de  $2 \text{ m/s}$ :

a) ¿Qué fuerza debe hacer la barra sobre la atleta en ese punto para que pueda girar?

b) ¿Qué fuerza harán las manos de la atleta sobre la barra?

c) Indica dos parejas de fuerzas en el sentido que indica la tercera ley.



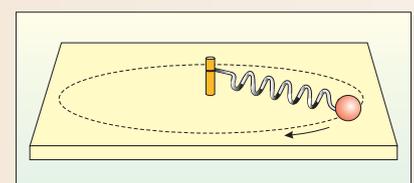
14. Un esquiador de 70 kg desciende en línea recta por una pendiente de  $10^\circ$  siendo el coeficiente de rozamiento de los esquís con la nieve de 0,1.

a) Indica el valor de la fuerza normal que hace la nieve sobre el esquiador cuando está en la pendiente.

b) ¿Qué rapidez llevará el esquiador cuando haya recorrido  $100 \text{ m}$ ?

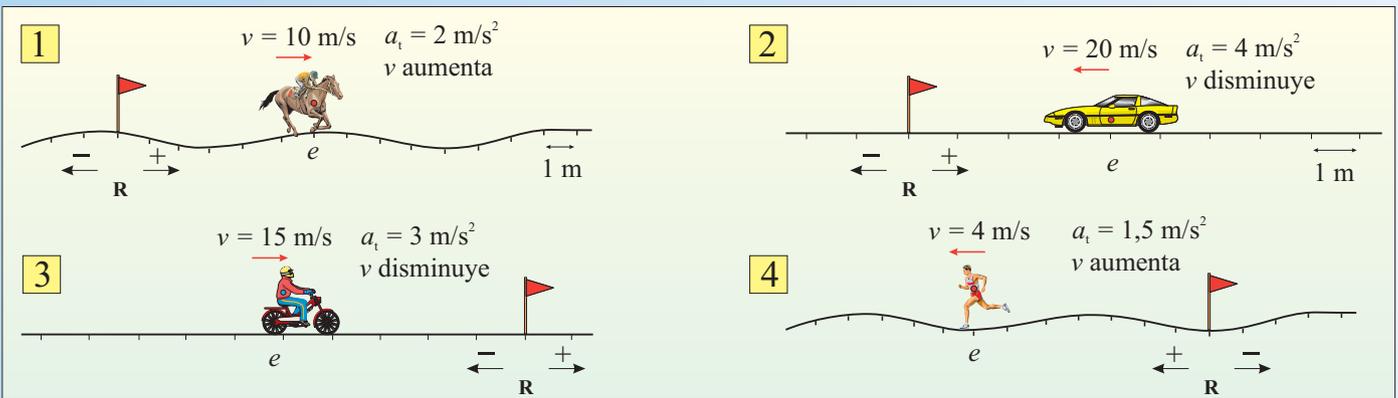
c) ¿Qué distancia recorrerá antes de pararse si en ese instante llega a una pista horizontal?

15. Un muelle con un cuerpo de 2 kg en un extremo gira con una rapidez angular de  $10 \text{ s}^{-1}$  en un plano horizontal donde podemos suponer el rozamiento despreciable. Si la longitud del muelle cuando gira es de  $0,5 \text{ m}$  y su constante de recuperación  $10000 \text{ N/m}$ , ¿qué deformación se observará en el muelle?



# ACTIVIDADES DE RECUPERACIÓN

A.1.- a) Indica los signos de la posición, rapidez y aceleración tangencial en los casos representados en los dibujos.



b) Escribe posibles ecuaciones que representen a estos movimientos.

A.2.- Una bola, que parte del reposo, tarda 1 s en recorrer un raíl inclinado cuya longitud es de 2 m. a) ¿Cuál es la rapidez de la bola al llegar al final del raíl? b) ¿Cuánto vale la aceleración en ese movimiento? c) ¿Cuál es la rapidez cuando ha recorrido 1 m?

A.3.- Una piedra cae desde una altura de 100 m. Calcula: a) el tiempo que tarda en caer los primeros 50 m. b) El tiempo que tarda en caer los últimos 50 m. c) La rapidez que tiene cuando ha recorrido los primeros 50 m y la que tiene un momento antes de llegar al suelo.

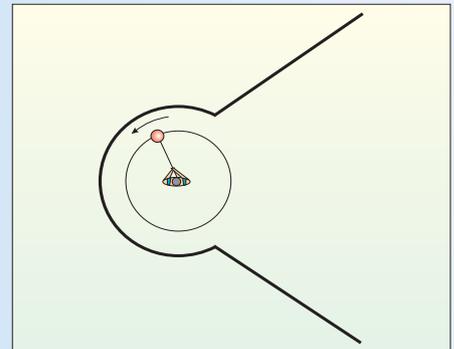
A.4.- Un coche circula con rapidez constante de 180 km/h en una carretera con límite de velocidad 90 km/h. Un policía lo ve venir y arranca su moto justo cuando el coche pasa frente a él. El motorista sale en su persecución acelerando a  $2 \text{ m/s}^2$ . ¿Cuánto tarda en alcanzar al coche infractor? ¿Qué distancia ha recorrido la moto y el coche desde el momento en que lo pasa? ¿Qué rapidez tiene la moto cuando lo alcanza? ¿Son posibles estos resultados?

A.5.- El lanzamiento de martillo consiste en lanzar lo más lejos posible una bola que está sujeta a una cadena. Los atletas giran con el martillo de 7,26 kg y lo sueltan cuando consideran que han alcanzado la máxima velocidad posible, que en el caso de un buen atleta podemos suponer de 25 m/s, lo que sucede 1,6 s después de empezar a girar el atleta.

a) ¿En qué posición crees que deben soltarlo para que el martillo salga a través de la abertura de la red metálica en la que gira el atleta, y que se pone para proteger al público?

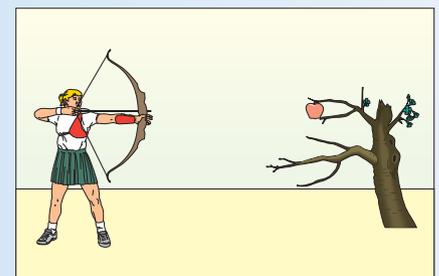
b) Calcula la aceleración tangencial que ha tenido el martillo si suponemos que el aumento de rapidez ha sido uniforme.

c) Dibuja la aceleración tangencial y la normal del martillo y calcula esta última un momento antes de lanzarlo teniendo en cuenta que el círculo que describe el martillo tiene un radio de 1,3 m.



A.6.- Dejas caer desde un 5º piso dos piedras iguales de 10 kg cada una. La primera se rompe durante la caída en dos trozos de 7 y 3 kg respectivamente. ¿Cuál de las tres piedras llegará antes al suelo? ¿Cuál será la última?

A.7.- Con un arco disparamos una flecha horizontalmente hacia una manzana que está colgada de un árbol. En el momento de salir la flecha, la manzana se cae del árbol. ¿Golpeará la flecha a la manzana? Explica qué ocurrirá justificando tu predicción.



A.8.- Un portero saca el balón con una rapidez de 22 m/s con un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal. Calcula la altura hasta la que asciende el balón y la distancia a la que caerá sobre el césped.

**A.9.-** Indica si las siguientes frases son correctas. En las incorrectas describe el error o errores cometidos.

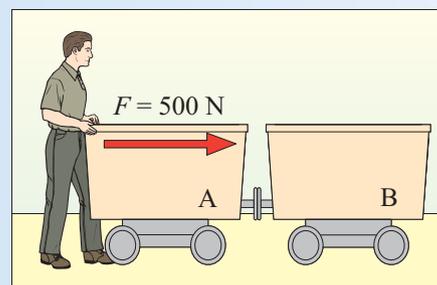
- Las fuerzas gravitatorias solamente existen entre cuerpos de masas muy grandes.
- Los cuerpos que lanzamos hacia arriba se detienen y caen cuando se les acaba la fuerza que les hemos dado.
- La fuerza gravitatoria con la que un cuerpo grande atrae a uno pequeño es mayor que la fuerza con la que el pequeño atrae al grande.
- La fuerza magnética que tiene un imán grande es mayor que la fuerza gravitatoria que tiene un cuerpo de masa pequeña.
- Los cuerpos acaban deteniéndose si no hay una fuerza que los empuje hacia donde se están moviendo.

**A.10.-** Una persona tiene un niño subido sobre los hombros.

- ¿La fuerza que hace el niño sobre la persona es igual, mayor o menor que la que hace la persona sobre el niño?
- ¿La fuerza que hace el niño sobre la persona es igual, mayor o menor que la que hace el suelo sobre la persona?

**A.11.-** Dos vagonetas iguales, de 250 kg cada una, están en contacto y pueden desplazarse por una superficie horizontal. Empujamos a la vagoneta A con una fuerza de 500 N, y ambas vagonetas se ponen en movimiento.

- ¿La fuerza que ejerce la vagoneta A sobre la B es de 500 N?
- ¿La fuerza con la que la vagoneta A empuja a la B es igual a la fuerza con la que la vagoneta B empuja a la A?
- Si dejamos de empujar las vagonetas terminan parándose, ¿por qué? ¿Cómo podríamos conseguir que la rapidez fuese constante?



**A.12.-** Una pelota de 300 g lleva una rapidez de 12 m/s cuando es golpeada por otra pelota de 1000 g que se mueve en sentido contrario con rapidez de 4 m/s. Después del choque, la pelota pequeña sale con rapidez de 12,7 m/s en la misma dirección que llevaba y en sentido contrario. Si la duración del choque entre ambas bolas ha sido de 0,1 s:

- Calcula la fuerza media que ha ejercido la pelota grande sobre la pequeña y el impulso de esta fuerza.
- ¿Cuál habrá sido la fuerza ejercida por la pelota pequeña sobre la grande?
- ¿Cuál será la rapidez de la pelota grande después del choque?

**A.13.-** Un tractor de 3000 kg arrastra un remolque de 7000 kg. La fuerza de rozamiento que se opone al avance de todo el sistema es de 10000 N.

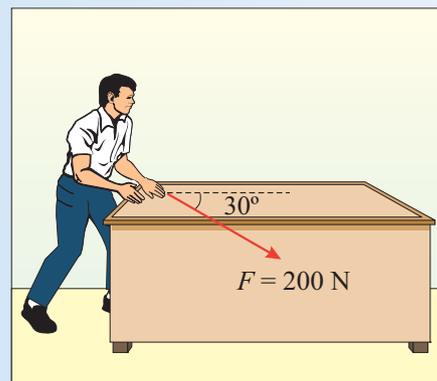
- ¿Qué fuerza debe hacerse sobre el tractor para que avance con rapidez constante?
- ¿Qué fuerza se debe hacer si queremos que el tractor aumente su rapidez en 5 m/s en un intervalo de 8 s?
- ¿Qué fuerza debe hacerse sobre el sistema si queremos que suba una pendiente de  $8^\circ$  con rapidez constante?

**A.14.-** La aceleración con la que caen los cuerpos en la Luna es de  $1,6 \text{ m/s}^2$  y en la Tierra es de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

- ¿Es posible que cayendo desde la misma altura, un cuerpo tarde menos tiempo en caer en la Luna que en la Tierra? Explica la respuesta.
- ¿Qué fuerza debe hacerse sobre una cápsula espacial de 2000 kg si queremos que despegue verticalmente de la Luna con aceleración de  $2 \text{ m/s}^2$ ? ¿Se podría conseguir que despegase la cápsula utilizando un motor capaz de mover unas hélices?

**A.15.-** Para arrastrar la mesa, cuya masa es 40 kg, Julio empuja haciendo una fuerza de 200 N inclinada  $30^\circ$  bajo la horizontal. El coeficiente de rozamiento mesa-suelo es 0,4.

- Calcula la fuerza de rozamiento.
- Si en lugar de empujar hacia abajo hubiese tirado formando la fuerza un ángulo de  $30^\circ$  por encima de la horizontal, ¿cuánto valdría la aceleración con la que se movería la mesa?



**A.16.-** Se lanza hacia arriba con rapidez inicial de 5 m/s un cuerpo de 2 kg por un plano inclinado  $30^\circ$ . Calcula la distancia que recorre y el tiempo que tarda en pararse si el coeficiente de rozamiento es 0,2.

1

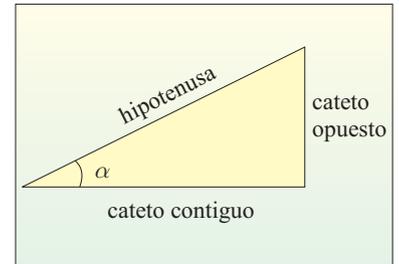
INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO VECTORIAL

1.1 Nociones elementales de trigonometría

En cualquier triángulo rectángulo se definen las funciones seno, coseno y tangente de un ángulo de la siguiente forma:

$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}; \quad \text{cos } \alpha = \frac{\text{cateto contiguo}}{\text{hipotenusa}}; \quad \text{tg } \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto contiguo}}$$

Se dispone de tablas en las que están recogidas los valores del seno, coseno y tangente de cualquier ángulo. Además, las calculadoras electrónicas permiten hacer ese cálculo con sólo escribir el valor del ángulo y pulsar la tecla correspondiente.



**A.1.-** Dibuja un triángulo rectángulo cuya hipotenusa mida 8 cm y el ángulo que forme con un cateto sea de 30°. a) Calcula a partir del seno y del coseno de 30° el cateto contiguo y el cateto opuesto. b) Teniendo en cuenta el dibujo, mide la longitud de ambos catetos y compáralos con los valores obtenidos antes.

**A.2.-** Sabes que el cateto opuesto a un ángulo de 20° vale 10 cm.

- a) Calcula la hipotenusa y el cateto contiguo.
- b) Dibuja el triángulo rectángulo correspondiente.

1.2 Algunas operaciones con vectores

Un **vector** es un ente matemático que representaremos en el plano como un segmento orientado. Para indicar el sentido se acostumbra a dibujar una flecha en el extremo del segmento.

P

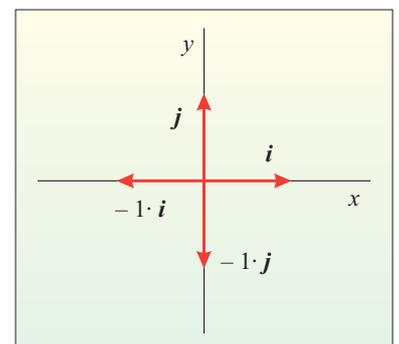
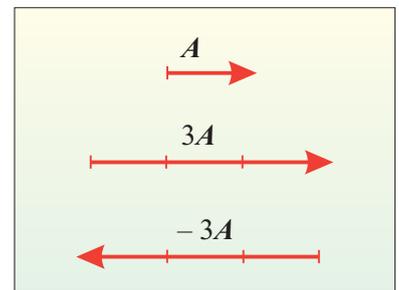
Un vector puede expresarse mediante un número, el **módulo**, una **dirección** y un **sentido**. Así, podemos decir que se ha ejercido sobre un cuerpo una fuerza de 100 N inclinada 20° sobre la horizontal y dirigida de izquierda a derecha.

El producto de un vector por un escalar (número) es otro vector de igual dirección que el primero y cuyo módulo es igual al del primer vector multiplicado por ese número. El sentido es el mismo si el número es positivo y contrario si el número es negativo.

El cociente entre un vector y un número es totalmente similar al producto. En este caso, el nuevo vector tendrá un módulo cuyo valor será igual al del vector original dividido entre el número en cuestión.

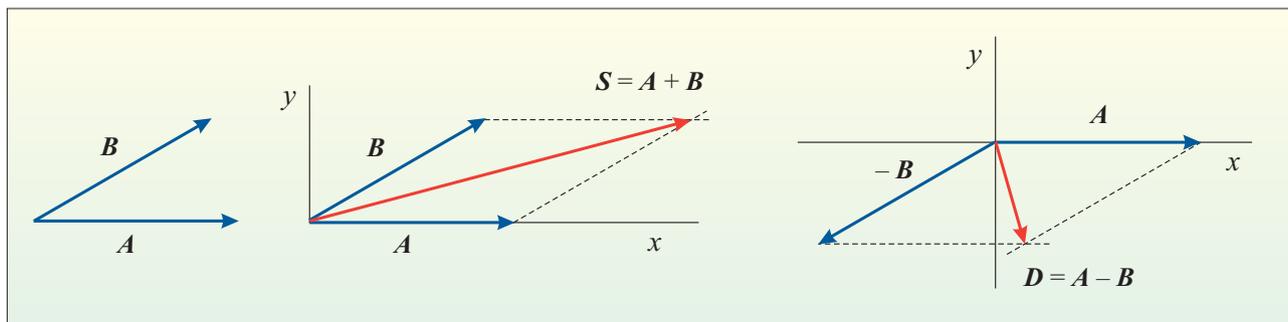
Un **vector unitario** es un vector de módulo unidad. Un vector cualquiera puede escribirse como el producto de un número que sea igual a su módulo por un vector unitario en la misma dirección y sentido que el vector. Así, si el vector **A** tiene de módulo 5 y el vector **a** es un vector unitario de la misma dirección y sentido que el anterior, podemos escribir **A = 5 a**.

Es frecuente utilizar sistemas de referencia ortogonales. Las direcciones de los ejes se representan por vectores unitarios que convencionalmente se denominan **i, j, k**. Los vectores **-i, -j, -k** se obtienen al multiplicar los vectores unitarios por -1.



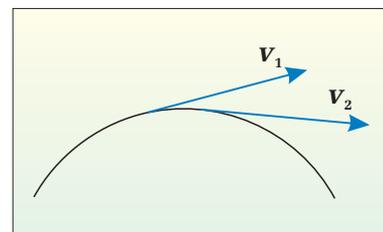
## Suma y resta de vectores

Para sumar dos vectores se coloca un vector a continuación del otro, y se une el origen del primero con el extremo del último. O bien, como indica el dibujo, se sitúan en el mismo origen y se trazan paralelas (líneas discontinuas del dibujo) desde los extremos de los vectores a sus direcciones; finalmente se une el origen de ambos, trazando el vector suma hasta el punto donde se cortan las líneas paralelas. El módulo del vector suma se puede calcular dibujando los vectores a escala. Se mide la longitud del vector suma y con ayuda de la misma escala, se puede calcular el valor del módulo de ese vector.



Restar un vector  $B$  a otro  $A$  es equivalente a sumar a  $A$  el opuesto de  $B$ . El opuesto de un vector es otro vector de igual dirección, igual módulo y sentido contrario. Así, si queremos realizar el cálculo  $D = A - B$  debemos dibujar el vector opuesto al vector  $B$  y sumarlo al  $A$ .

**A.3.-** En la figura se representa en dos instantes cercanos la velocidad de un móvil que recorre un movimiento circular con rapidez constante. Calcula gráficamente  $\Delta v = v_2 - v_1$ . ¿Cómo es la dirección de la velocidad respecto a la trayectoria? ¿Tiene la variación de la velocidad la misma dirección que la velocidad?



## Componentes de un vector

Llamamos **componente** de un vector respecto a un eje a la proyección del vector sobre ese eje.

En física utilizamos los vectores para representar magnitudes dirigidas. La componente de una magnitud respecto a un eje representa el «efecto» que hará esa magnitud en la dirección marcada por ese eje. Veamos el ejemplo siguiente:

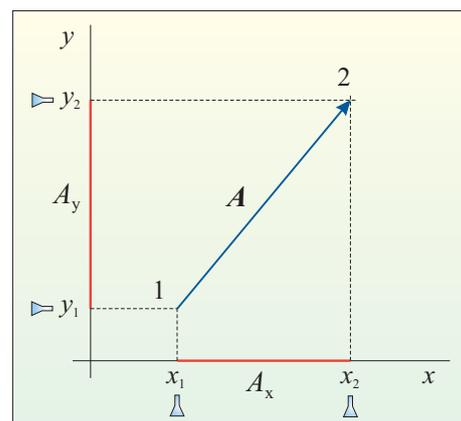
**A.4.-** Un futbolista se desplaza desde el punto 1 hasta el 2 y el desplazamiento se puede representar por el vector  $A$ . La cámara que lo sigue por la banda  $x$  debe desplazarse  $A_x$  mientras que la que lo sigue por la banda  $y$  debe desplazarse  $A_y$  para estar siempre «en línea» con el futbolista.

a) ¿El desplazamiento de cada cámara será igual, mayor o menor que el del futbolista?

b) Suponiendo que se mueva en otra dirección, ¿puede, en alguna ocasión, ser mayor el desplazamiento de alguna cámara que el del futbolista?

c) ¿En qué dirección debe moverse el futbolista para que el desplazamiento de la cámara X sea igual que el del futbolista? ¿En qué dirección debería moverse para que sea igual el desplazamiento de la cámara Y que el del futbolista?

d) ¿En qué dirección debe moverse el futbolista para que el desplazamiento de ambas cámaras sean iguales?



Cualquier vector puede ser considerado como suma de dos vectores cuyas direcciones coinciden con la de los ejes coordenados. El vector  $\mathbf{A}$  puede considerarse como la suma de los vectores  $\mathbf{A}_x$  y  $\mathbf{A}_y$ .

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_x + \mathbf{A}_y$$

Puesto que cada vector puede escribirse como el producto de un número por un vector unitario que tenga la misma dirección, podemos escribir:

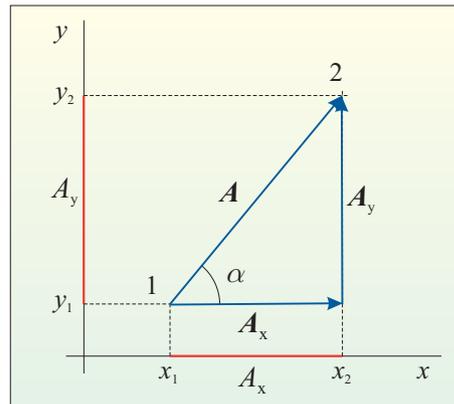
$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j}$$

Las componentes de un vector se pueden calcular si se conoce el módulo del vector y el ángulo  $\alpha$  que forma la dirección del vector con la del eje  $x$ .

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{A_x}{A} & A_x &= A \cos \alpha \\ \operatorname{sen} \alpha &= \frac{A_y}{A} & A_y &= A \operatorname{sen} \alpha \end{aligned} \right\} \mathbf{A} = A \cos \alpha \mathbf{i} + A \operatorname{sen} \alpha \mathbf{j}$$

A los números  $A_x$  y  $A_y$  se les llama componentes del vector  $\mathbf{A}$ . Si tenemos en cuenta el teorema de Pitágoras, el módulo de un vector está relacionado con sus componentes por la expresión:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$



**A.5.-** Se lanza un balón hacia canasta con velocidad inicial de 5 m/s formando un ángulo de  $40^\circ$  con la horizontal. Supón que la canasta está a la derecha del lanzador. Inicialmente la pelota se moverá hacia la derecha y hacia arriba.

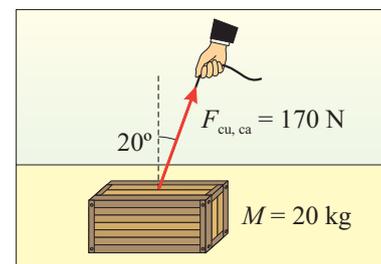
- En el momento inicial, ¿cuál será la velocidad del balón hacia la derecha?
- En el momento inicial, ¿con qué velocidad subirá verticalmente?
- Expresa los resultados anteriores con una notación matemática si suponemos que la velocidad se representa por la letra  $\mathbf{v}$ , hacia la derecha se representa por el eje  $x$  y hacia arriba por el eje  $y$ .

**A.6.-** Tiramos de una caja de la forma indicada en la figura.

- ¿Con qué fuerza estamos intentando levantar la caja?
- ¿Qué fuerza intenta desplazar la caja horizontalmente?

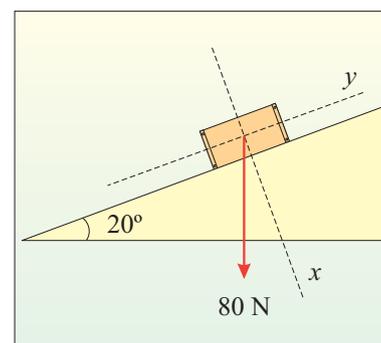
Nota: Fíjate cuidadosamente en los ángulos que debes considerar.

- Expresa los resultados anteriores con una notación matemática si suponemos que la fuerza se representa por la letra  $F$ , hacia la derecha se representa por el eje  $x$  y hacia arriba por el eje  $y$ .



**A.7.-** Un cuerpo se encuentra sobre una superficie inclinada  $20^\circ$  sobre la horizontal. El peso de ese cuerpo es de 80 N y está dirigido verticalmente hacia abajo. Escogemos el eje  $x$  perpendicular a la superficie del plano y el eje  $y$  paralelo al mismo. El ángulo que forma el peso con el eje  $x$  es también  $20^\circ$ .

- Intenta demostrar que los dos ángulos a los que nos hemos referido tienen que ser siempre iguales.
- Calcula cuál será el «efecto» de ese peso referido a los ejes representados en la figura. Antes de hacer los cálculos, dibuja las líneas auxiliares que permiten hacer la proyección de esa fuerza sobre cada eje.
- ¿Puede ser el valor de alguna de esas componentes mayor de 80 N?



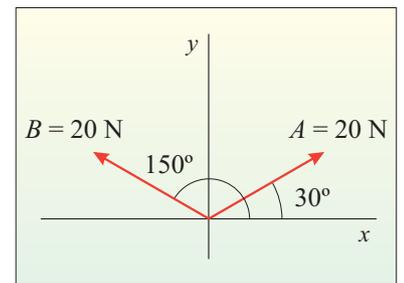
Las componentes pueden ser positivas o negativas, dependiendo de la orientación del vector respecto a los ejes coordenados y del criterio de signos que se adopte.

Frecuentemente se adopta como criterio de signos considerar positivo «hacia la derecha y hacia arriba». De acuerdo con ese criterio, para que al calcular la componente se obtenga el signo adecuado, es necesario medir el ángulo a partir del semieje  $x$  positivo, en sentido contrario al del movimiento de las agujas del reloj.

Los vectores representados en la figura adjunta tienen el mismo módulo, pero tienen direcciones diferentes. Sus componentes se calculan como sigue:

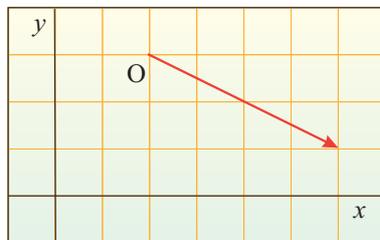
$$\mathbf{A} \begin{cases} A_x = A \cdot \cos 30 = 17,4 \\ A_y = A \cdot \sin 30 = 10,0 \end{cases} \quad \mathbf{A} = 17,4 \mathbf{i} + 10,0 \mathbf{j} \text{ N}$$

$$\mathbf{B} \begin{cases} B_x = B \cdot \cos 150 = -17,4 \\ B_y = B \cdot \sin 150 = 10,0 \end{cases} \quad \mathbf{B} = -17,4 \mathbf{i} + 10,0 \mathbf{j} \text{ N}$$



**A.8.-** Expresa en función de sus componentes un vector de módulo 40 que forma un ángulo de  $25^\circ$  con el eje  $x$  de un sistema de coordenadas. Haz lo mismo para otro vector de módulo 50 que forma un ángulo de  $30^\circ$  con el eje  $y$ .

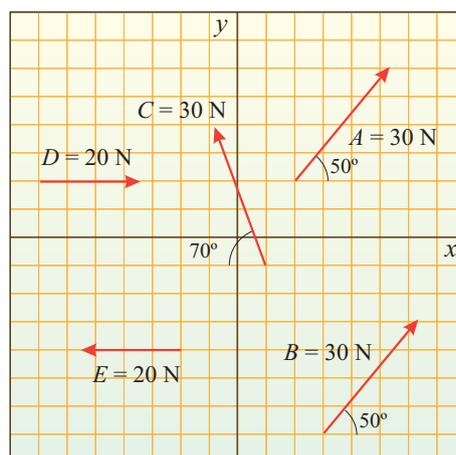
Para que un vector quede perfectamente definido es necesario conocer también su **punto de aplicación**. Llamamos punto de aplicación de un vector a las coordenadas de su punto origen. El punto de aplicación del vector representado en la figura es  $O(2,3)$  y sus componentes son  $A_x = 4$ ,  $A_y = -2$ .



**A.9.-** a) Indica el punto de aplicación y las componentes de cada uno de los vectores representados en el dibujo adjunto.

b) ¿Qué diferencia hay entre los vectores  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{B}$ ? ¿Tienen las mismas componentes? ¿El mismo módulo? ¿Son el mismo vector?, ¿por qué?

c) ¿Qué vectores tienen el mismo módulo y diferentes componentes?



**A.10.-** a) Representa en un sistema de ejes coordenados los vectores:

$$\mathbf{A} = 4\mathbf{i} + 2\mathbf{j}; \quad \mathbf{B} = 4\mathbf{i} - 2\mathbf{j}; \quad \mathbf{C} = -4\mathbf{i} + 2\mathbf{j}; \quad \mathbf{D} = -4\mathbf{i} - 2\mathbf{j}$$

b) Calcula el módulo de los vectores anteriores. ¿Son el mismo vector?

El establecimiento de algunos conceptos o ideas en la forma en que los conocemos ha supuesto luchar contra lo que en una época determinada pensaba casi todo el mundo, incluidos la mayoría de los científicos de entonces, y contra lo que se ha considerado tradicionalmente que era de «sentido común». Veamos, como ejemplo, algunas de las dificultades que se tuvieron que superar hasta llegar a la formulación del principio de inercia (o primer principio de la dinámica) en el siglo XVII.

## 2.1 La concepción aristotélica del movimiento

Aristóteles fue un filósofo griego que vivió en el siglo IV antes de Cristo. Aunque en la descripción de las teorías aristotélicas usaremos palabras actuales, el significado que tenían las palabras equivalentes que él utilizó es diferente al que tienen en la actualidad. Así la velocidad no tenía el sentido preciso y numérico que ahora tiene, sino algo más genérico relacionado con los cambios. Lo mismo podríamos decir de la fuerza, que para Aristóteles, estaba relacionada de alguna manera con el vigor corporal en lugar de ser algo con un significado tan preciso como el que actualmente tiene.

Para Aristóteles existe una clara distinción entre el mundo celeste, perfecto e inmutable y el mundo terrestre o sublunar, en el que existen cambios ya que es imperfecto, se producen nacimientos, muertes y degradaciones. El mundo celeste está formado por un elemento especial, el éter, que es incorruptible y no sufre cambios de ningún tipo.

Algunas características de la doctrina aristotélica sobre el movimiento son:

1. Hay dos tipos de movimiento: el **natural** y el **forzado o violento**.

2. El movimiento natural de los cuerpos está relacionado con la naturaleza de los mismos.

Todos los cuerpos, en el mundo sublunar, estarían constituidos por uno de los cuatro elementos simples: tierra, agua, aire y fuego o por una mezcla de ellos en diferentes proporciones. Esos elementos tienen un orden natural, de abajo arriba que coincide con el orden en el que los hemos escrito. Cada cuerpo, **cuando está fuera del lugar que le corresponde**, está dotado de un movimiento natural que lo lleva a ocupar su lugar. Ese movimiento es rectilíneo y está dirigido hacia abajo si en el cuerpo predominan los elementos pesados (tierra y agua), o hacia arriba si en el cuerpo predominan los elementos ligeros (aire y fuego).

3. Todo movimiento necesita de un «**motor**», capaz de iniciarlo y de mantenerlo. El motor debe estar siempre en contacto con el móvil.

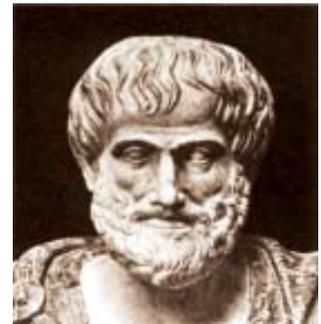
El motor de los movimientos naturales es la propia naturaleza de los cuerpos. En el caso de los movimientos forzados o violentos, el motor debe ser externo, siendo éste la causa de que se puedan mover en contra de su tendencia natural.

4. Todo movimiento necesita un medio dentro del cual se desplace el móvil.

Ese medio produce una resistencia al movimiento de forma que frena el impulso del móvil. Si la resistencia llega a equilibrar la fuerza motriz, el cuerpo se parará.

5. En un movimiento de caída, el tiempo empleado en recorrer una distancia está en proporción inversa al peso del cuerpo que cae.

Es decir que si dejamos caer, desde una misma altura, dos cuerpos siendo el peso de uno doble del peso del otro, el de mayor peso tardará la mitad del tiempo que tarda el de peso menor en llegar al suelo.



Aristóteles

- A.1.- a) Según Aristóteles, ¿por qué cae una manzana?  
 b) Según Aristóteles, ¿por qué sube un globo lleno de aire caliente?  
 c) Hagamos un poco de ciencia-ficción y de historia. Si en la Luna soltamos un globo lleno de aire caliente ¿se elevará o caerá hacia la superficie lunar?, ¿cómo lo explicaría Aristóteles?

## 2.2 Las críticas a la doctrina de Aristóteles

Aristóteles decía que para que existiese movimiento tenía que haber un motor capaz de mantener ese movimiento. En algunos casos, tenía ciertas dificultades para encontrar ese motor. Veamos cómo explicaba Aristóteles el movimiento de una flecha una vez que ha abandonado el arco.

*«La flecha pone en movimiento al aire que hay delante de ella. Ese aire se mueve hacia atrás (movimiento que llamaba de perístasis) y, cuando ha sobrepasado el final de la flecha, cambia de dirección (movimiento de antiperístasis) empujando de nuevo a la flecha hacia delante. El proceso se repite las veces que sean necesarias, perdiendo en cada etapa algo de la fuerza inicial, hasta que en un momento dado, el aire puesto en movimiento por la flecha, ya no es capaz de volver a empujar a la flecha y ésta se para.»*

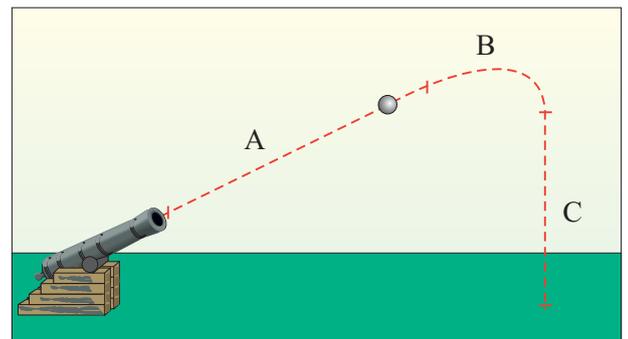
Las teorías de Aristóteles sobre el movimiento de los proyectiles no fueron admitidas unánimemente por sus contemporáneos y parece que ni él mismo estaba muy satisfecho de ellas. Sin embargo, no hubo alternativa clara y, a pesar de las críticas, su sistema se mantuvo. En el s. V de nuestra era, Juan Filopón, consideraba que cualquiera de las formas de antiperístasis es increíble y bordea lo fantástico. En efecto, el aire debería realizar tres movimientos distintos: debe ser empujado hacia delante por el proyectil, luego debe moverse hacia atrás, y por último debe cambiar nuevamente de dirección y moverse hacia adelante, empujando al proyectil. ¿Cómo es que el aire se vuelve hacia atrás, cuando inicialmente es empujado hacia delante?

Las consideraciones de Filopón no tuvieron ninguna influencia y hubo que esperar hasta los siglos XIII y XIV para ver aparecer una explicación diferente del movimiento de los proyectiles. Buridan propuso en el siglo XIV la teoría del «*impetus*». En ella da una explicación alternativa al movimiento de los proyectiles. El motor que pone en movimiento al proyectil imprime en él una cierta «fuerza motiva», un cierto *impetus* que actúa en la dirección en la cual el motor movía al cuerpo, «sea hacia arriba o hacia abajo, o lateralmente, o circularmente». Las propiedades del *impetus* son:

- Cuanto más velozmente mueva el motor al cuerpo, mayor será el *impetus* que imprima al cuerpo en movimiento.
- Cuanto más materia tenga el cuerpo que es movido, más intenso es el *impetus* recibido.
- El *impetus* es algo que tiene una naturaleza permanente y sólo es «corrompido» por la resistencia que ofrece el medio.

Podemos suponer que este *impetus* tiene cierto parecido con la cantidad de movimiento y con la energía cinética aunque sin definir el tipo de función que relaciona el *impetus* con la velocidad, por lo que no podemos decir que es un precedente claro de la cantidad de movimiento. Además, el hecho de que Buridan hable de un *impetus* circular, hace que tampoco lo podamos considerar como un precedente próximo a la idea de inercia.

Buridan sigue relacionando la fuerza con la velocidad y no con el cambio de velocidad. Sin embargo supuso un cierto avance respecto a las ideas aristotélicas pues se concibe el movimiento, aunque sea temporalmente, sin la necesidad de un motor que empuje continuamente al móvil.



En la etapa A predomina el *impetus*. En la B el *impetus* disminuye y el movimiento se curva. En la C el movimiento es vertical porque el *impetus* ha desaparecido.

## 2.3 El principio de inercia en el siglo XVII

Kepler, a principios del siglo XVII, fue el primero en introducir el término inercia, pero para él significaba la tendencia que tienen los cuerpos al reposo, es decir, justo lo contrario de lo que significa en la actualidad.

En los primeros años del siglo XVII ya se hablaba de la conservación del movimiento, si bien desde posturas aún confusas y que no pueden considerarse anticipos claros del principio de inercia. Por ejemplo, Beeckman (1588-1637) físico holandés que ejerció bastante influencia sobre Descartes, mantenía la doctrina de la conservación del movimiento: toda cosa puesta en movimiento tiende a conservarlo siempre, sin volver al reposo a menos que se oponga un obstáculo externo. Pero para Beeckman se conservaba lo mismo el movimiento rectilíneo que el movimiento circular y así ponía como ejemplo el movimiento de giro de la Tierra sobre sí misma.

Galileo (a principios del siglo XVII) profundizó en el análisis del movimiento de los cuerpos, observó que el péndulo puede mantener su movimiento durante mucho tiempo, y que un cuerpo que se desliza por una superficie con un impulso inicial tarda más en detenerse cuanto más pulida esté la superficie. Es muy difícil saber cómo llegó Galileo a conclusiones muy cercanas al principio de inercia.

Parece que Galileo no llegó a postular el principio de inercia tal como se entiende en la actualidad. Es posible que influido por la idea de que el círculo es la figura perfecta y que el movimiento circular es perfecto, junto con la inercia rectilínea mantuviese también la idea de una cierta inercia circular. Es decir el mantenimiento de un movimiento circular sin necesidad de una fuerza para mantener el cambio de dirección.

Descartes (1644) sí habló de un movimiento en línea recta que no necesitaba de ninguna fuerza para mantenerse. Considera el movimiento uniforme rectilíneo como un *estado*, idéntico a la situación de reposo que también se considera como un *estado*.

El principio de inercia quedó definitivamente fijado por Newton en 1687. Las puntualizaciones principales que hizo fueron:

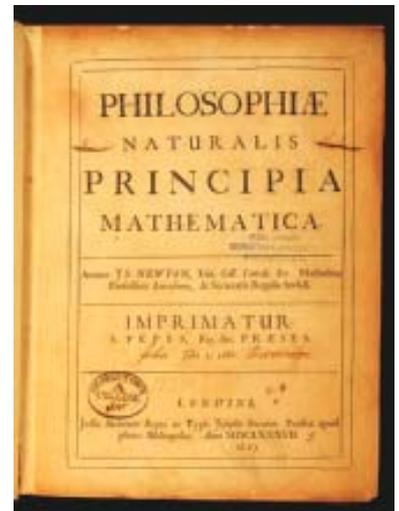
- \* Establecer claramente que la inercia es exclusivamente rectilínea.
- \* Concebir que los movimientos inerciales pueden continuar indefinidamente.
- \* Considerar ese movimiento como un **estado** similar al **estado** de reposo. Ahora el movimiento no es un proceso sino un estado.
- \* Asociar la inercia, y en consecuencia los movimientos inerciales, con la masa como medida de la cantidad de materia.

Con Newton se llega al principio de inercia tal como hoy lo entendemos. Él concibe un cuerpo moviéndose para siempre con velocidad constante en línea recta. Por otro lado, la ruptura de la idea del círculo como figura perfecta también puede que le ayudara a romper la idea de inercia circular que mantuvo Galileo.

En este sentido, la obra de Kepler, que había sido anterior a Newton y había establecido que el movimiento de los planetas se hace según órbitas elípticas en lugar de órbitas circulares, tuvo también una influencia indirecta, al crear un clima propicio para que se pudiera dar ese paso. La redacción de la primera ley tal como la planteó Newton es la siguiente:

Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado.

El mérito de Galileo y Newton, la ciencia clásica, es pensar que no hay necesidad de una fuerza para mantener el movimiento, igual que no es necesario una fuerza para



En sus *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Newton desarrolla las leyes de la dinámica.

mantener el estado de reposo. Eso no es observar mejor, pues por cuidadosa que sea la observación difícilmente podemos llegar a esa conclusión. Se llega a la idea puramente abstracta de un movimiento continuo sin fuerza y sin resistencia.

- A.2.-** a) ¿Por qué fue tan difícil llegar a establecer el principio de inercia?  
 b) Intenta resumir en una o dos frases la diferencia fundamental entre la concepción del movimiento de Aristóteles y la concepción del movimiento de Newton.  
 c) ¿Qué le faltó a Galileo para llegar a un principio de inercia como el que se admite hoy?

### 3 COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL DE LA SEGUNDA LEY

La 2ª ley la estableció Newton después de un largo proceso. Aunque hoy está totalmente aceptada por la comunidad científica, vamos a intentar «comprobarla» experimentalmente. Supondremos que somos científicos del s. XVIII y que lo que dijo Newton todavía no ha alcanzado rango de ley, siendo sólo una hipótesis que hay que verificar experimentalmente.

Para llevar a cabo esa verificación experimental utilizaremos un instrumento conocido como máquina de Atwood. Se trata de una polea con muy poco rozamiento por cuya garganta pasa un hilo fino de seda cuya masa podemos considerar despreciable, de cuyos extremos cuelgan dos portapesas en las que se pueden colocar diferentes pesas.

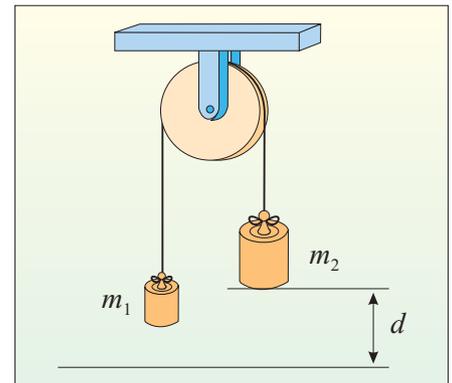
Aunque las dos fuerzas que actúan sobre los cuerpos en los extremos de la cuerda tienen la misma dirección y sentido, cuando se hace su suma hay que restarlas pues respecto al movimiento del sistema, una tira en un sentido y la otra en sentido contrario. Por lo tanto, el módulo de la suma de las fuerzas exteriores que actúan sobre ese sistema es:  $(m_2 - m_1) g$ .

Las masas  $m_1$  y  $m_2$  se pueden medir directamente con ayuda de una balanza pero no hay aparato que mida directamente la aceleración. La aceleración se puede calcular a partir de la distancia recorrida y del tiempo que tarda en recorrerla. En los cálculos que hagamos supondremos:

- El sistema está inicialmente en reposo.
- $d$  es la distancia recorrida por cada cuerpo.
- $\Delta t$  es el tiempo que tarda en recorrer la distancia anterior.

La masa del sistema la mantenemos constante. Para ello, lo que hacemos es pasar pesas de un portapesas al otro y así se consigue que cambie la suma de las fuerzas sin que cambie la masa del sistema.

- A.1.-** a) Demuestra que es correcta la expresión:  $a = (2 d)/(\Delta t)^2$   
 b) La tabla adjunta recoge las medidas efectuadas. En los tres casos, la distancia recorrida era la misma,  $d = 1,00$  m. Calcula la aceleración con la que se movía el sistema en cada caso.  
 c) Comprueba que el cociente entre la suma de las fuerzas exteriores que actúan sobre el sistema y la aceleración que le han producido al mismo es igual en los tres casos.  
 d) Indica la sensibilidad de la balanza y de los cronómetros utilizados. ¿Crees que hubiese sido conveniente que algún aparato hubiese sido más sensible? ¿Qué te parece la precisión de las medidas?



**G.** Atwood publicó en 1784 un libro en el que se recogían una serie de experimentos diseñados con el ánimo de comprobar la teoría de Newton.



#### 3.20

Puedes hacer los ejercicios que se incluyen en el apartado máquina de Atwood

$m_2 - m_1$ (g)	$d$ (m)	$\Delta t$ (s)
		1,41
20	1,00	1,43
		1,39
		1,02
40	1,00	1,00
		1,00
		0,82
60	1,00	0,80
		0,84

# Capítulo 4

## Contenido

Unidad 1

La energía

Unidad 2

La corriente eléctrica



# Transferencias de energía

«Una máquina es un dispositivo que sirve para multiplicar fuerzas o simplemente para cambiar la dirección de las fuerzas. Tras el funcionamiento de toda máquina está el concepto de conservación de la energía...».

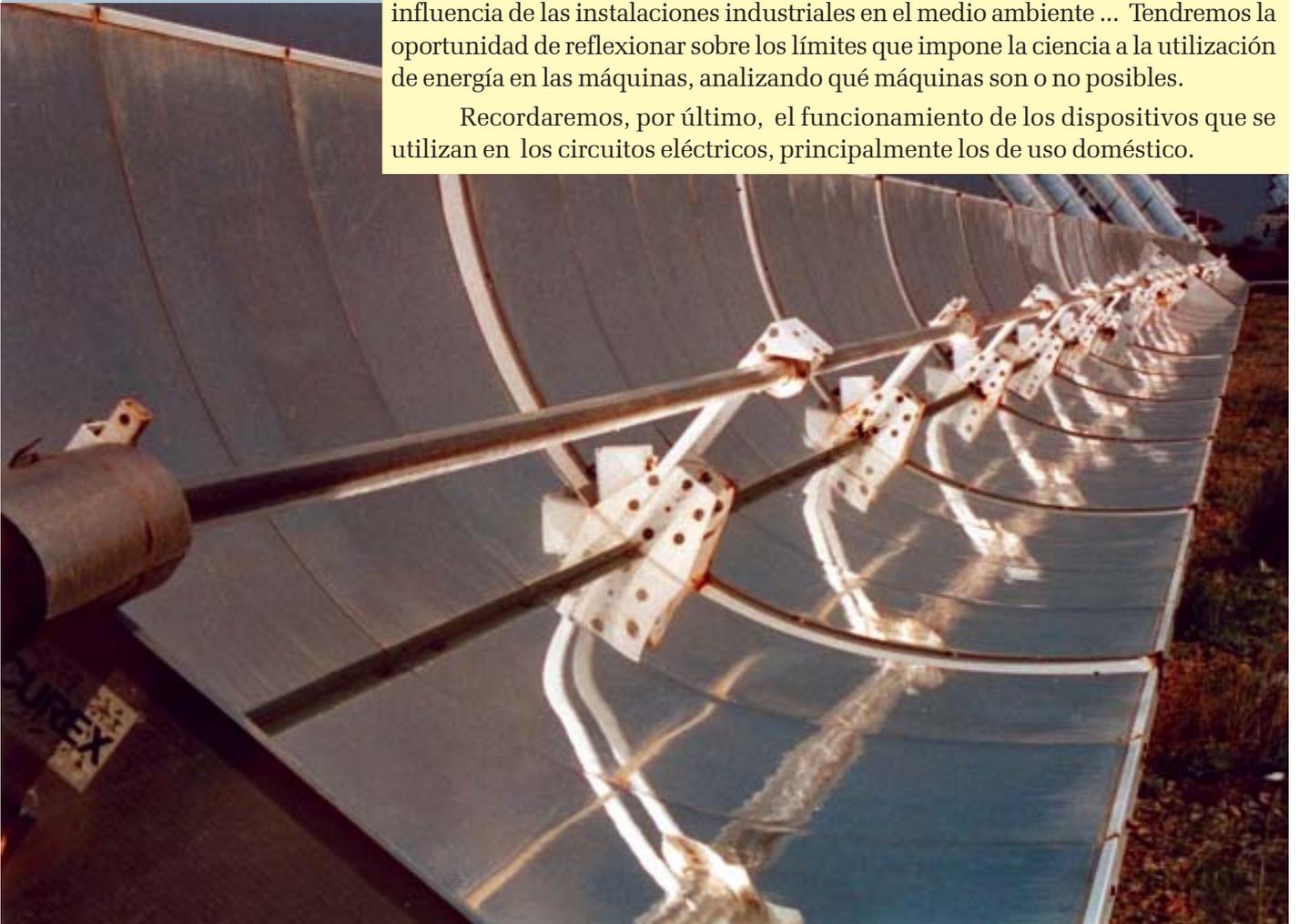
P. G. Hewitt «*Física conceptual*» (1995)

## ¿Qué trabajaremos?

Además de permitirnos explicar muchos fenómenos que podemos observar, la energía tiene una gran importancia práctica por estar ligada a la utilización de máquinas. El principal objetivo de este capítulo es completar la visión que se ha dado hasta ahora de la energía, los conceptos y leyes relacionados con ella (transferencia, transformación, conservación y degradación), aplicándolos al caso de máquinas de especial interés, tanto térmicas como eléctricas.

Discutiremos sobre las ventajas e inconvenientes de los diversos dispositivos usados para aprovechar la energía, posibles fuentes alternativas de energía, influencia de las instalaciones industriales en el medio ambiente ... Tendremos la oportunidad de reflexionar sobre los límites que impone la ciencia a la utilización de energía en las máquinas, analizando qué máquinas son o no posibles.

Recordaremos, por último, el funcionamiento de los dispositivos que se utilizan en los circuitos eléctricos, principalmente los de uso doméstico.



# 1

# LA ENERGÍA



## IDEAS PRINCIPALES

Tipos o formas de energía: cinética, potencial e interna

Fuentes de energía

Transferencias de energía: calor y trabajo

Potencia

Rendimiento

Conservación de la energía

Primer principio de la termodinámica

Degradación de la energía

Segundo principio de la termodinámica

Estudiaremos cuestiones relacionadas con las máquinas en general y más concretamente con las llamadas máquinas térmicas, lo que nos permitirá hacer una breve introducción a la termodinámica.

Recordaremos las formas de energía (cinética, potencial gravitatoria e interna), las fuentes y las transferencias de energía, relacionadas con los conceptos trabajo, calor y potencia. Profundizaremos sobre cómo calcular el trabajo y justificaremos las expresiones que permiten calcular los diferentes tipos de energía. Dedicaremos también atención a las transferencias energéticas relacionadas con las fuerzas de rozamiento.

Al analizar el funcionamiento de las máquinas volveremos a tener en cuenta el principio de conservación de la energía y haremos cálculos sobre el rendimiento de distintas máquinas. Finalmente hablaremos del caso concreto de las máquinas térmicas y haremos una breve introducción a la termodinámica, analizando el significado del primer y segundo principio y planteando algunos problemas interesantes relacionado con el rendimiento y funcionamiento de máquinas reales.

# 1

## LA ENERGÍA Y SUS TRANSFERENCIAS

La energía es una propiedad que se asocia a los sistemas materiales y que utilizan los científicos para describir o explicar muchos procesos. Es una propiedad que no debemos confundir con el propio sistema. La energía no es algo material, como lo puede ser el carbón o cualquier otro combustible.

La energía es una propiedad de los cuerpos o sistemas que se relaciona con su capacidad para producir cambios en otros cuerpos o sistemas o en ellos mismos.



La energía está relacionada con procesos que pueden ser útiles o perjudiciales para las personas.

Para entender el significado de esa magnitud debemos entender cuáles son sus propiedades: la posibilidad de **conversión o transformación** cambiando la forma en la que se presenta, la **conservación** de la cantidad total de energía sea cual sea el proceso que ocurra, la **degradación** o pérdida de utilidad de la energía y la **transferencia** de energía de un sistema a otro.

**A.1.-** a) Explica qué quiere decir que la energía se conserva. Pon un ejemplo.

b) ¿Podemos volver a utilizar la energía que hemos empleado para calentar una casa? Explica que pasa con esa energía.

c) Describe algún ejemplo de transferencia de energía de un sistema a otro en el que participe alguna máquina. ¿Permiten las máquinas aumentar la cantidad de energía?, ¿cuál es su utilidad?

d) Comenta la siguiente frase indicando si es correcta o incorrecta: «al quemar carbón, éste se convierte en energía».

La unidad de energía en el Sistema Internacional es el **julio** cuyo símbolo es J.

Otras unidades son:

La **caloría**, cuyo símbolo es cal, que equivale a 4,18 J.

El kilovatiohora, cuyo símbolo es kWh, que equivale a 3600000 J.

La tonelada equivalente de carbón, TEC, energía que se puede obtener en la combustión de una tonelada de carbón; equivale a  $29,3 \cdot 10^{12}$  J.

La tonelada equivalente de petróleo, TEP, energía que se puede obtener en la combustión de una tonelada de petróleo; equivale a  $41,9 \cdot 10^{12}$  J.

El julio es una unidad de energía muy pequeña. Para que te hagas una idea, la energía que se puede aprovechar al quemar 1 kg de gasolina es aproximadamente igual a 40000000 J.

### Formas de energía

La capacidad que tenga un sistema para provocar cambios puede estar relacionado con diferentes propiedades del sistema. En ese sentido se distinguen distintas formas de energía, según la propiedad a la que estén asociadas. Las formas de energía que se tendrán en cuenta son:

**Energía cinética:** Es la que tienen los cuerpos por estar en movimiento. Su valor es la mitad del producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de su velocidad.

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

#### ATENCIÓN

La ecuación sólo es válida cuando se trata de velocidades mucho menores que la de la luz en el vacío.

**Energía potencial gravitatoria:** Es la que tienen los cuerpos según su posición con respecto a la Tierra. Su valor depende del peso del cuerpo y de la altura respecto del nivel que hayamos tomado como referencia.

$$E_p = m g h$$

La energía potencial gravitatoria también puede definirse respecto a cualquier otro planeta, satélite, estrella, y en general respecto a cualquier otro cuerpo.

**Energía interna:** es la que tienen los cuerpos en función de las sustancias que lo forman, de la cantidad que hay de cada una, así como de la temperatura y estado de agregación en la que se encuentran. Tradicionalmente se ha diferenciado entre energía térmica y energía química, de forma que se puede escribir:

$$E_{\text{interna}} = E_{\text{térmica}} + E_{\text{química}}$$

Podemos considerar que la energía térmica es la suma de las energías cinéticas de cada una de las moléculas, tanto de traslación como de vibración o de rotación de esas moléculas. También contribuiría a esa energía térmica, la energía potencial eléctrica relacionada con la fuerza de atracción entre las moléculas. Mientras que una sustancia no sufra ningún cambio químico, los cambios de energía interna se refieren a cambios en lo que llamamos energía térmica.

Por otro lado, la energía química está relacionada con la energía de los enlaces entre los átomos que forman las moléculas. Sus cambios ocurren fundamentalmente cuando hay cambios químicos, es decir, cuando se rompen esos enlaces entre los átomos y se forman nuevas moléculas.

El **poder calorífico** es la energía que proporciona la unidad de masa del combustible cuando se quema. La reacción de combustión de un carburante, por ejemplo de la gasolina, va acompañada de una disminución de la energía química de los productos respecto a la de los reactivos. Esa diferencia de energía se manifiesta normalmente por un aumento de la energía térmica, es decir, por un aumento de la temperatura de los productos respecto a la de los reactivos.

**A.2.-** Un avión vuela a 300 m/s a una altura de 3 200 m. La masa de una azafata de ese vuelo es de 54 kg.

- Calcula su energía cinética y su energía potencial respecto a tierra y respecto a otra azafata que viaja en el mismo avión.
- Qué valores te parecen más correctos? Explica la respuesta.
- ¿Qué transformaciones energéticas tienen lugar en el motor del avión?

Los valores de  $E_{\text{cin}}$  y  $E_{\text{pg}}$  son relativos al sistema de referencia escogido. En todas las formas de energía lo que se conoce sin ambigüedad son variaciones de energía. En el caso de la energía interna, siempre se calculan variaciones.

## Cálculo de la variación de energía interna

### a) En el caso de que el sistema cambie de temperatura

Si suponemos que es  $m$  la masa del cuerpo,  $t_i$  su temperatura inicial y  $t_f$  su temperatura final, la variación de su energía interna se calcula con la expresión:

$$\Delta E = m c_e \Delta t = m c_e (t_f - t_i)$$

### ATENCIÓN

Sólo es válida cuando  $h$  es muy pequeña comparada con el radio de la Tierra.

### FUENTES DE ENERGÍA

No debemos confundir formas de energía con fuentes de energía. Las fuentes se refieren a las diferentes procedencias que tiene la energía que utilizamos. La energía eólica o la energía hidráulica son fuentes de energía, pero en ambos casos se trata del aprovechamiento de un mismo tipo o forma de energía, la cinética.



El propano es un combustible de elevado poder calorífico.

### ATENCIÓN

Sólo es válida cuando se pueda considerar constante el calor específico en todo el intervalo de temperaturas.

A  $c_e$  se le llama **calor específico**. Es una propiedad característica de cada sustancia y representa la energía necesaria para cambiar en un grado la temperatura de la unidad de masa de dicha sustancia.

### b) Que se produzca un cambio de estado

Al hervir agua la temperatura del sistema no cambia mientras se produce el cambio de estado. Sin embargo, para mantener la ebullición es necesario seguir suministrando energía. La cantidad de energía necesaria para que se produzca el cambio de estado de una sustancia, cuya masa es  $m$ , se puede calcular con la expresión:

$$\Delta E = m c_L$$

El calor latente de cambio de estado,  $c_L$ , es una propiedad característica de cada sustancia. Representa la energía necesaria para producir el cambio de estado de la unidad de masa de esa sustancia, cuando está a la temperatura del cambio de estado.

La unidad de calor específico de una sustancia en el SI es el  $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$  que corresponde a la energía, en julios, necesaria para variar un kelvin la temperatura de un kilogramo de esa sustancia.

Con frecuencia se utiliza como unidad de calor específico la  $\text{cal}/\text{g}\cdot\text{C}$ .



Mientras que el agua hierve la temperatura no cambia, pero sí aumenta su energía interna.

**A.3.-** a) Calcula la energía mínima necesaria para que un joyero funda 15 g de oro que están a 20 °C.

b) En un horno a temperatura constante de 300 °C se introducen 10 g de agua que se encuentran a 20 °C. Calcula el aumento de energía interna del agua si la dejamos tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio térmico.

c) En un congelador que está a -18 °C se pone 1,2 L de agua a 22 °C. Calcula la variación de energía interna del agua al cabo del tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio térmico.

Cuando aumenta o disminuye la energía de un sistema, se dice que ha existido una **transferencia de energía** entre el sistema y el medio exterior. A la cantidad de energía transferida entre dos sistemas se le llama **calor**,  $Q$ , o **trabajo**,  $W$ , según sea debida a una diferencia de temperatura entre ambos sistemas o a que un sistema ejerce una fuerza sobre el otro desplazándolo.



## 4.1

La simulación calcula la temperatura final de la mezcla de un trozo de metal o de hielo en agua. Se puede modificar la masa y temperatura inicial del metal y la masa y temperatura inicial del agua.

## 1.1 Transferencias de energía: calor

Cuando se ponen en contacto dos sistemas cuyas temperaturas son diferentes, disminuye la energía interna del que está a mayor temperatura y aumenta la energía interna del que está a menor temperatura. El proceso continúa hasta que ambos sistemas se encuentran a la misma temperatura (equilibrio térmico).

Los científicos llaman **calor** ( $Q$ ) a la cantidad de energía transferida entre dos sistemas a causa de una diferencia de temperatura entre ambos.

Si  $Q > 0$ , **aumenta** la energía del sistema.

Si  $Q < 0$ , **disminuye** la energía del sistema.

Las unidades de calor son las mismas que las de energía. En el SI es el julio.

**A.4.-** Responde a las siguientes preguntas relacionadas con el calor.

a) En el lenguaje científico, ¿es imprescindible la palabra frío?

b) Explica por qué para transportar los alimentos congelados utilizamos unas bolsas especiales, ¿podríamos hacerlo en un «termo»?

c) Explica por qué sentimos más frío al salir del agua cuando hace viento que si no lo hace.

### $Q$ y $\Delta E_{\text{interna}}$

En muchas ocasiones, el calor se relaciona con la variación de energía interna del sistema.

$Q > 0$  da lugar a  $\Delta E_i > 0$ , y eso supone que hay un aumento de temperatura, o que hay fusión, vaporización o sublimación.

$Q < 0$  da lugar a  $\Delta E_i < 0$ , y eso supone que hay una disminución de temperatura o que hay solidificación, condensación o sublimación inversa.

## Mezclas de sistemas a diferentes temperaturas

Cuando mezclamos dos sistemas a diferente temperatura evolucionan hasta alcanzar el equilibrio térmico. La variación de energía interna,  $\Delta E_{\text{interna}}$ , de cada uno de los sistemas se calcula según el proceso correspondiente a un cambio de temperatura o a un cambio de estado.

**Cambio de temperatura**  $\Delta E_{\text{interna}} = m c_e \Delta t$

**Cambio de estado**  $\Delta E_{\text{interna}} = m c_L$

Si no hay transferencias de energía nada más que entre los dos sistemas (despreciamos las posibles «pérdidas» o transferencias de energía a otros sistemas), el principio de conservación de la energía señala que el aumento de energía de un sistema será igual a la disminución de energía del otro. Puesto que la variación de temperatura es:  $\Delta t = t_f - t_i$ , la variación de energía que corresponde al sistema que aumenta su temperatura será positivo, mientras que la variación de energía será negativa para el sistema que disminuye su temperatura.

Los calorímetros son recipientes con paredes de baja conductividad térmica que podemos considerar aislados. Se utilizan cuando se quiere medir la energía intercambiada entre dos sistemas.

La energía que corresponde a un cambio de estado la pondremos positiva cuando el sistema haya ganado energía y negativa cuando la haya perdido. La aplicación del principio de conservación se traduce en la expresión:

$$(\Delta E_{\text{interna}})_{\text{sistema 1}} + (\Delta E_{\text{interna}})_{\text{sistema 2}} = 0$$



El calorímetro es un sistema aislado

Sistema cerrado: no intercambia materia con el exterior.  
Sistema aislado: no intercambia materia ni energía con el exterior.  
Sistema isotermo: se mantiene la temperatura constante.  
Proceso adiabático: no hay intercambio de calor:  $Q = 0$

### EJEMPLO

Añadimos dos cubitos de hielo de masa total 50 g que están a la temperatura de  $-20^\circ\text{C}$ , a un vaso con  $250\text{ cm}^3$  de agua que está a la temperatura de  $40^\circ\text{C}$ . Calcula la temperatura final de la mezcla y el calor en ese proceso.

Los dos sistemas que participan son el hielo y el vaso de agua. El hielo «se calienta» desde  $-20^\circ\text{C}$  hasta  $0^\circ\text{C}$ , funde total o parcialmente (depende de la cantidad que haya de agua y de la temperatura de ésta), y en caso de que funda completamente, también puede aumentar su temperatura. Por otra parte, el agua del vaso se enfriará, hasta que su temperatura coincida con la del agua procedente de la fusión del hielo. Los calores específicos y latentes los buscamos en la tabla que está al final del capítulo.

$$\Delta E_{\text{hielo}} + \Delta E_{\text{agua}} = 0$$

$$[50 \cdot 0,5 (0 - (-20))] + 50 \cdot 80 + 50 \cdot 1 (t_f - 0) + [250 \cdot 1 (t_f - 40)] = 0$$

$$300 t_f - 5500 = 0; \quad t_f = 18,3^\circ\text{C}$$

El resultado es razonable ya que la temperatura es mayor que la del hielo y menor que la inicial del agua.

Para calcular el calor fijamos la atención en un sistema, por ejemplo el agua:

$$\Delta E_{\text{agua}} = Q = 250 \cdot 1 \cdot (18,3 - 40) = -5425 \text{ calorías}$$

El signo (-) significa que ha disminuido la energía interna del agua; decimos que «ha cedido» energía:  $Q < 0$ .

El hielo habrá ganado una cantidad equivalente de energía. Compruébalo. En ese caso, ¿será  $Q > 0$  o  $Q < 0$ ?

\* Al hacer los cálculos no hemos tenido en cuenta la variación de temperatura del vaso, (el recipiente que contiene al agua). ¿Cómo hubiera afectado a la temperatura final si lo hubieramos incluido? Justifica la respuesta.

**A.5.-** a) Mezclamos 200 g de agua a  $20^\circ\text{C}$  con medio litro de agua a  $50^\circ\text{C}$ . ¿Cuál será la temperatura final de la mezcla? Indica el sistema que gana y el que pierde energía. Calcula el calor.



La simulación calcula la temperatura final cuando se ponen en contacto dos metales a diferente temperatura. Se puede modificar la temperatura inicial y la masa de ambos metales.

b) Un herrero está forjando una pieza de hierro cuya masa es de 1 kg. La echa sobre 5 litros de agua que se encuentran inicialmente a 20 °C, siendo la temperatura final de la mezcla 42 °C. ¿A qué temperatura media se encontraba el hierro? ¿En cuánto ha aumentado la energía del agua? ¿En qué sistema ha disminuido la energía? ¿Cuánto calor se ha puesto en juego?

**A.6.-** a) Se introduce una bola de aluminio de 0,1 kg, a 200 °C, en un recipiente con 100 cm<sup>3</sup> de agua a la temperatura de 20 °C. ¿Cuál será la temperatura una vez alcanzado el equilibrio térmico? Calcula la variación de energía del agua y de la bola de aluminio. Calcula el calor.

b) En un recipiente térmicamente aislado mezclamos 300 g de un metal a la temperatura de 250,0 °C con 22 g de hielo a la temperatura de -10,0 °C. ¿De qué metal se trata si la temperatura final de la mezcla es de 65,7 °C?

P

## 1.2 Transferencias de energía: trabajo

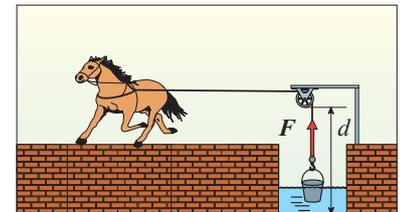
El trabajo es una magnitud que permite calcular las transferencias de energía entre dos sistemas y las transformaciones de un tipo de energía en otro dentro de un sistema cuando conocemos las fuerzas y el desplazamiento de su punto de aplicación.

Para calcular el **trabajo** realizado por una fuerza se multiplica el valor de la fuerza por el desplazamiento de su punto de aplicación.

$$\Delta E = W = F d$$

La unidad de trabajo en el SI es el **julio**. Es lógico que se utilice la misma unidad que para la energía, puesto que el trabajo mide variaciones de energía.

Analicemos algunas situaciones en las que hay presentes fuerzas exteriores que actúan sobre los sistemas.



Para sacar agua de las minas se utilizaban caballos. Fueron sustituidos por las máquinas de vapor. Para comparar su capacidad se tenía en cuenta el peso del agua que subían y la altura a la que la elevaban. Se llamó **trabajo** al producto **peso-altura**. Se puede considerar que es la primera vez que se introdujo esa magnitud en la Física.

**A.7.-** Una grúa levanta una viga de 3000 kg desde el suelo hasta colocarla sobre los pilares, quedando la viga a 20 m del suelo.

- ¿Qué fuerza mínima debe hacerse sobre la viga para subirla?
- ¿Qué trabajo mínimo se hace sobre la viga mientras ésta sube?
- ¿Qué trabajo se hace sobre la viga mientras está sobre los pilares?
- Calcula la variación de energía potencial gravitatoria que corresponde a los procesos descritos en b) y c) y compárala con el trabajo realizado sobre la viga.

P

Hay que diferenciar entre trabajo y fuerza. Para que haya trabajo se necesita que exista una fuerza y que además se desplace su punto de aplicación (en muchas ocasiones este desplazamiento coincide con el del cuerpo sobre el que está aplicada dicha fuerza). La fuerza que hace el techo sobre la lámpara no realiza trabajo, pues no hay desplazamiento de su punto de aplicación. Ese resultado es coherente con el hecho de que no hay transferencia de energía entre el techo y la lámpara. Es un ejemplo en el que existe fuerza y, sin embargo, no se realiza trabajo.



La fuerza que hace el techo sobre la lámpara no realiza trabajo sobre ésta.

**A.8.-** Dos personas empujan con 800 N a un coche de 1400 kg desplazándolo a lo largo de 10 m. El coche está inicialmente en reposo y cuando se mueve lo hace sobre una carretera horizontal.

- Calcula el trabajo realizado sobre el coche.
- Si no hay rozamientos, ¿cuál será la energía cinética final del coche?

P

El trabajo realizado desde el exterior sobre un sistema mide la variación de energía de ese sistema. Si el sistema tiene más energía al final de un proceso que la que tenía al principio, ese proceso habrá supuesto que el sistema gane energía; diremos que el trabajo realizado sobre el sistema es positivo. Si el resultado de un proceso es que el sistema tiene al final menos energía que al principio, el sistema ha perdido energía; diremos que el trabajo realizado sobre el sistema es negativo.

**Trabajo exterior positivo : aumenta la energía del sistema**

**Trabajo exterior negativo: disminuye la energía del sistema**

A veces se producen confusiones cuando no se explicita claramente el trabajo que se pretende calcular. En algunos libros se dice que una persona que sostiene un saco sobre sus espaldas no realiza trabajo, al menos trabajo en el sentido en el que nos referimos en Física. Para poder conciliar ese rigor en la forma de hablar en Física, con la sensación fisiológica de cansancio que se tiene al sostener un saco durante un cierto tiempo diremos:

a) Sobre el saco no se realiza trabajo pues, aunque se ejerce una fuerza sobre él, el punto de aplicación de esa fuerza no sufre ningún desplazamiento. Ese trabajo nulo está de acuerdo con el hecho de que el saco no experimenta ninguna variación de energía.

b) Los músculos de la persona sí realizan un trabajo pues, aunque de forma global no hay desplazamiento, sí existen pequeños desplazamientos del punto de aplicación de la fuerza que hacen las fibras musculares, que se contraen y se estiran. El trabajo realizado por esas fuerzas internas de la persona mide el cambio de un tipo de energía en otro dentro de la persona, aumentando su temperatura. Eso da lugar a un paso de energía al ambiente y por lo tanto una disminución de la energía de la persona.



## ***Necesidad de los conceptos calor, trabajo, temperatura y energía interna***

Aunque parece que los científicos utilizan un lenguaje rebuscado y, a veces, hasta caprichoso, se debe a que es necesario un lenguaje preciso para expresar sin ambigüedad el mensaje que se quiere transmitir. Los científicos necesitan de todos esos conceptos para describir correctamente los cambios que les ocurren a los sistemas. La temperatura y la energía interna se utilizan para describir el estado del sistema: se les llama **variables de estado**. El calor y el trabajo se utilizan para calcular y describir cómo se ha realizado la transferencia de energía entre el sistema y el exterior; podríamos decir que son magnitudes que describen el proceso.

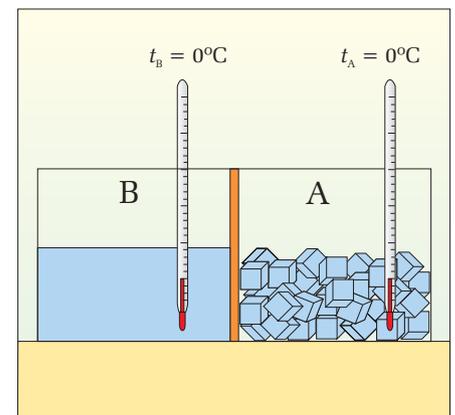
Analicemos algunos procesos utilizando los conceptos adecuadamente.

Si ponemos el recipiente A que contiene hielo a punto de fundir en contacto con el B que contiene agua líquida a punto de pasar a sólida, podemos decir:

\* Ambos recipientes están en equilibrio, ya que no se observa que ocurra ningún cambio aunque los pongamos en contacto. Llamamos temperatura a la magnitud que nos informa de ese equilibrio. Ambos recipientes están a la misma temperatura, que en la escala Celsius y si la presión es 1atm, es 0 °C.

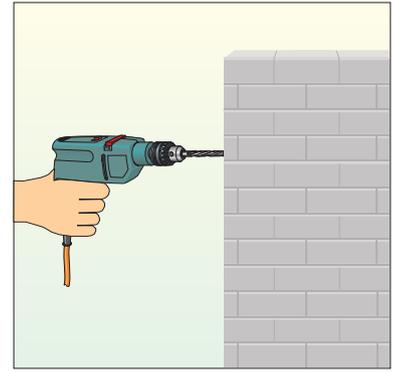
\* Si suponemos que ambos tienen la misma masa, el recipiente B tiene más energía que el A, ya que necesitamos dar energía al hielo para pasarlo a agua líquida. Decimos que el sistema B tiene más energía interna que el A.

\* Para pasar del sistema A al B es necesario darle energía. Lo podemos hacer poniéndolo sobre un hornillo eléctrico o «rozándolo» con las aspas de una batidora; a la cantidad de energía transferida la llamaríamos calor en el primer caso y trabajo en el segundo.



Si frotas una moneda con la mesa observarás que se calienta. El calentamiento es más notable en una broca utilizada para hacer un agujero.

Cuando aumentamos la temperatura de un sistema hacemos que aumente su energía interna. Pero lo podemos hacer de dos maneras, poniéndolo en contacto con otro cuerpo cuya temperatura sea mayor o realizando un trabajo sobre él. Cambia la forma de darle energía, pero el resultado es el mismo: aumento de temperatura.



El aumento de energía interna de la broca es debido a un trabajo.

**A.9.-** a) ¿Crees correcto decir que un cuerpo tiene trabajo? ¿Y que un cuerpo tiene calor? Explica las respuestas.

b) Si golpeamos con un martillo repetidas veces un yunque de hierro podemos observar que el yunque y el martillo terminan calentándose. Si dejamos de golpear, al cabo de cierto tiempo, podremos observar que tanto el yunque como el martillo están a la misma temperatura que el ambiente. Describe el proceso anterior, haciendo un análisis de las transferencias energéticas que tienen lugar utilizando las palabras calor, temperatura, trabajo y energía interna.

### 1.3 La potencia

Cuando se comparan dos máquinas capaces de realizar el mismo tipo de transformación interesa conocer, además de la cantidad total de energía que pueden transferir esas máquinas, la rapidez con la que se puede llevar a cabo esa transferencia energética.

La potencia se define como la relación entre la energía intercambiada,  $\Delta E$ , y el tiempo que se ha tardado en realizar dicho intercambio,  $\Delta t$ .

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

En el SI la unidad de potencia es el vatio (W). Una máquina tiene una potencia de un vatio cuando es capaz de transferir un julio en cada segundo que esté funcionando. El vatio es una unidad pequeña y se utiliza un múltiplo, el kilovatio, que equivale a 1000 vatios.

Otra unidad es el caballo de vapor (CV) que equivale a 735 vatios, aunque no pertenece al SI.

El kilovatiohora, kWh, es una unidad de energía, no de potencia. Se trata de la energía que puede transferir durante una hora un sistema cuya potencia es 1 kW.

**A.10.-** a) Comparemos el motor de una pequeña motocicleta y el motor de la locomotora del AVE. Discute si los siguientes enunciados son correctos o incorrectos justificando tu respuesta:

- La energía transformada por el motor del AVE es mayor que la transformada por el motor de la motocicleta.

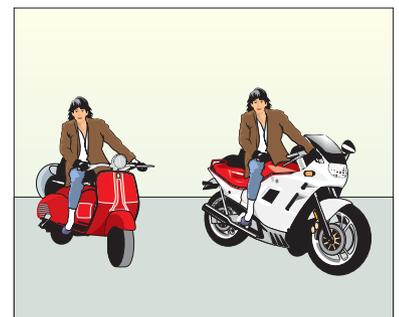
- Para transformar la misma cantidad de energía el motor del AVE tarda más tiempo que el de la motocicleta.

b) Un motor A funcionando durante 10 minutos suministra una energía de 84000 J. Otro motor B proporciona una energía de 0,08 kWh cuando está funcionando durante 40 minutos. ¿Cuál de los dos motores nos ha proporcionado más energía? ¿Cuál de ellos tiene más potencia? Justifica tu respuesta.

c) Si una estufa de 1000 W calienta una habitación en 8 minutos, ¿cuánto tardará en calentar una habitación similar una estufa de 1500 W?

#### ATENCIÓN

Permite calcular la potencia media en un intervalo de tiempo. Hay que modificarla si queremos calcular la potencia instantánea.



La potencia de los motores de los vehículos puede ser muy diferente.



## 1.4 Factores que contribuyeron a la formación del concepto energía

En la ciencia la palabra energía sólo empezó a ser utilizada a mediados del siglo XIX. ¿Por qué hubo que inventar un nuevo concepto? Aunque es difícil de contestar a esa pregunta, podemos referirnos a los siguientes factores.

### El estudio de los procesos de conversión

En las primeras décadas del siglo XIX se estudiaron numerosos procesos en los que se relacionaban fenómenos diferentes que permitían una serie de transformaciones. Algunos ejemplos son:

\* En el año 1800 Volta construyó la pila eléctrica que produce corriente a partir de una reacción química. Casi al mismo tiempo, empezó a utilizarse la corriente eléctrica para producir la descomposición de numerosos compuestos químicos mediante el proceso llamado electrólisis.

\* En 1820 Oersted descubrió que una corriente eléctrica se comporta como un imán. En 1831 Faraday observó que un imán produce corriente eléctrica en un conductor cuando se acerca o aleja de él (inducción electromagnética).

\* Desde el principio se comprobó que la corriente eléctrica «produce calor». En 1822, Seebeck descubre que al calentar la soldadura de dos metales diferentes se establece un voltaje entre los extremos de esos metales, que puede dar lugar a una corriente eléctrica.

\* Los cuerpos se calientan cuando rozan al moverse. A su vez, el calor podía producir movimiento con una máquina de vapor.

\* El movimiento de un imán produce electricidad en un conductor. El paso de electricidad es capaz de mover un motor eléctrico.

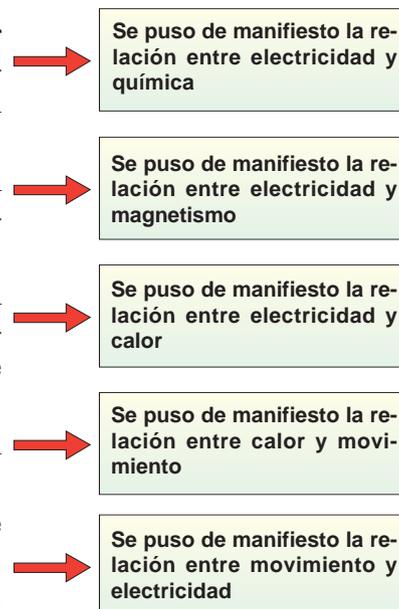
Los procesos de conversión llevaron a muchos científicos a la convicción de la existencia de una «capacidad o fuerza común» en todas esas manifestaciones que permitía que ocurrieran esas transformaciones.

Los nuevos descubrimientos en relación con los fenómenos anteriores formaron una red de conexiones entre partes de la ciencia que anteriormente estaban separadas, lo que dio lugar a que surgieran nuevos problemas por resolver, unos de naturaleza teórica y otros de índole práctico en relación con el cálculo del trabajo realizado por las máquinas y su rendimiento.

Entre los problemas teóricos señalaremos la diferenciación entre los conceptos calor, temperatura y energía interna. El calor se definió relacionándolo con la variación de temperatura y la masa del cuerpo calentado o enfriado. Pero hubo que convencer a los científicos que tenían la idea de que el calor era una sustancia, a la que denominaban «calórico» y que en términos actuales sería lo que nosotros llamamos «energía interna».

### El interés por las máquinas. La máquina de vapor

Por otro lado, se estaba en plena revolución industrial donde era fundamental optimizar el rendimiento mecánico de las máquinas térmicas que quemaban carbón. El estudio de la máquina de vapor hizo necesario conceptos como trabajo, rendimiento o potencia, que contribuyeron al desarrollo posterior del concepto energía. La primera máquina de vapor con interés industrial fue la de Newcomen (1712), superada por las de Watt que comenzaron a funcionar en 1776. El rendimiento de la máquina de Watt era



Una reacción química en la pila permite que exista una corriente eléctrica, y el paso de ésta por la bobina bajo la influencia del imán produce el movimiento del motor.

pequeño, alrededor del 3 %, pero mayor que el de la máquina de Newcomen que apenas alcanzaba el 1 %. Construir una máquina de ese tipo planteaba en aquella época graves problemas técnicos. La mayor dificultad estaba en barrenar un cilindro suficientemente perfecto para que no se escapase el vapor entre sus paredes y los bordes del pistón, pero la búsqueda de soluciones a este tipo de problemas permitió además resolver el carácter sustancial del calor. Las máquinas de vapor que se construían a finales del siglo XIX tenían un rendimiento de hasta el 17 % mientras que las turbinas de vapor actuales llegan a rendimientos del 40 %.

El desarrollo de las máquinas de vapor fue anterior a su explicación científica, que no llegó hasta mediados del s. XIX. Lo que sí apreciaban los científicos es que todas las máquinas térmicas tenían una estructura similar, funcionando entre un foco caliente, la caldera, y un foco frío, el condensador. Era el paso de calor desde el foco caliente al frío lo que era capaz de producir trabajo. Sin embargo no se interpretaba por entonces que calor y trabajo fuesen manifestaciones de una misma propiedad, la energía, pero es indudable que el estudio de las máquinas contribuyó a la formación de esa idea.

Hacia 1840 la ciencia deriva de la relación entre trabajo y calor el *concepto de energía*, como una función general de los sistemas que les permite hacer trabajo. El concepto energía se convierte en estructurante y sirve para explicar, en general, las diferentes interacciones que se habían ido introduciendo en mecánica, electricidad, magnetismo y química.

### Las ideas «a priori» de los científicos

Nos referimos a las «creencias» o suposiciones generales sobre la constitución de la naturaleza que tienen los científicos. Estas ideas no han de tener necesariamente una base científica, y por eso las hemos llamado «creencias», y en muchos casos influyen poderosamente en las investigaciones. Así, **antes** de que se descubrieran los procesos de conversión descritos, había científicos que creían en la unidad de todos los fenómenos físicos.

Oersted persistió durante largos años en la búsqueda de la relación entre electricidad y magnetismo, mientras que Faraday buscó durante mucho tiempo la relación entre magnetismo y movimiento, y a pesar de los numerosos fracasos, no abandonaron en su empeño debido a que ambos estaban convencidos de la existencia de esas relaciones, a veces, incluso antes de que nadie las hubiese observado, y otras, sólo porque conocían indicios de ellas.

Una vez surgida la nueva idea, hay que buscar una palabra para referirse a ella. En el caso de la energía, la nueva idea fue designada en principio con la palabra, «fuerza», que ya se utilizaba con otro significado. Así pues, la palabra fuerza se usó durante algún tiempo de forma algo confusa para referirse a dos ideas distintas. El término energía empezó a utilizarse casi generalmente a partir de 1850, tras la publicación de un trabajo de Thomson (más tarde Lord Kelvin), en el que se hacía mención explícita de la conservación y la degradación de la energía.



En la máquina de Watt, mediante la combustión de carbón se calentaba el agua de una caldera hasta obtener vapor. Cuando se abre la válvula A, mientras está cerrada la B, el vapor entra en el cilindro y empuja al pistón, que sube ayudado por el peso del artilugio que cuelga de la parte derecha de la viga oscilante. Una vez que se ha llenado el cilindro con el vapor de agua, se cierra la válvula A y se abre la válvula B, de forma que el vapor pasa al condensador donde, al enfriarse, se condensa por lo que disminuye mucho la presión en el interior del cilindro. La presión atmosférica exterior es entonces mayor que la presión en el cilindro, por lo que la fuerza exterior hacia abajo sobre el pistón es mayor que la fuerza interior hacia arriba; hay pues una fuerza resultante que hace descender al pistón. Puesto que el pistón está unido a la viga oscilante, al bajar el pistón también lo hace la parte izquierda de la viga mientras que sube la parte derecha y, con ella, la carga que cuelga de aquella parte. Por último, se abre la válvula C y se expulsa el agua líquida obtenida a partir de la condensación del vapor.

- A.11.-** a) ¿Qué factores crearon la necesidad del concepto energía?  
 b) ¿Qué diferencias fundamentales hay entre el significado del concepto fuerza y el del concepto energía? ¿Existe la conservación de la fuerza?  
 c) ¿Qué problemas trataban de resolver los científicos e ingenieros que permitieron la diferenciación entre los conceptos de trabajo, calor y energía interna?  
 d) Si las creencias previas de los científicos influyen en su forma de entender el mundo, ¿es la ciencia objetiva o subjetiva? Explica tu respuesta.

# 2

## CÁLCULO DEL TRABAJO

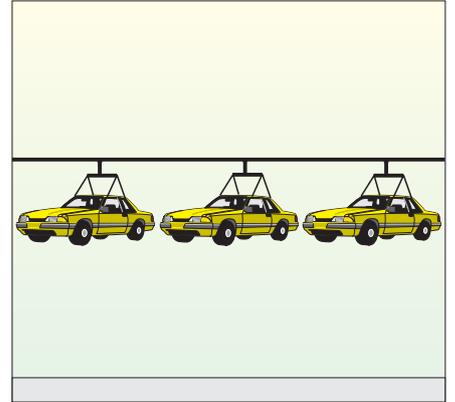
Comenzaremos ampliando el cálculo del trabajo a situaciones en las que la fuerza que actúa sobre el cuerpo tiene una dirección diferente a la del desplazamiento que experimenta el punto de aplicación de la fuerza.

### 2.1 Cálculo del trabajo cuando desplazamiento y fuerza no tienen la misma dirección

¿Se puede calcular siempre el trabajo como el producto de la fuerza por el desplazamiento? Discutamos la situación siguiente:

**A.12.-** En una cadena de montaje, los coches se desplazan a velocidad constante colgados de unos raíles. Suponiendo que el peso de cada coche es 7000 N y que se desplaza 30 m.

- Calcula el trabajo asociado a la fuerza que sostiene al coche.
- ¿Qué cambio de energía ha experimentado el coche? ¿Coincide con el trabajo realizado sobre el coche?



Para que el cálculo del trabajo sea consistente con su significado hay que tener en cuenta el ángulo que forman entre sí la dirección de la fuerza y la dirección del desplazamiento. La ecuación que permite calcular el trabajo es:

$$W = F d \cos \phi$$

$F$  es el módulo de la fuerza,  $d$  es el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza y  $\phi$  es el ángulo que forma la dirección de la fuerza con la dirección del desplazamiento.

Si aplicamos una fuerza  $F$  a un cuerpo que se desplaza una distancia  $d$ , tal como se ve en la figura, podemos distinguir su «efecto horizontal» y su «efecto vertical», asociado cada uno a la componente de  $F$  en esa dirección:

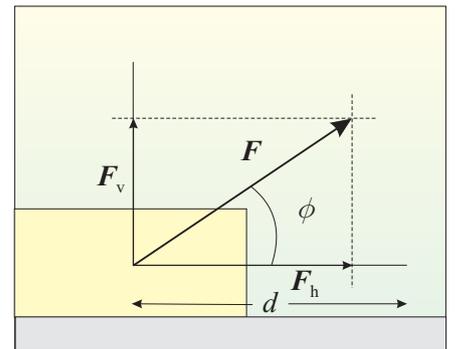
El efecto horizontal, asociado a  $F_h = F \cos \phi$ , consiste en un cambio de su energía cinética. El trabajo realizado sobre el cuerpo será  $W = F \cos \phi d$

El efecto vertical, asociado a  $F_v = F \sin \phi$ , no produce ningún cambio de energía del cuerpo. Puesto que no hay desplazamiento vertical, el trabajo realizado sobre el cuerpo será  $W = F \sin \phi \cdot 0 = 0$ .

Aunque se trata sólo de un ejemplo y no de una demostración general, cualquier otra situación puede analizarse de forma semejante.

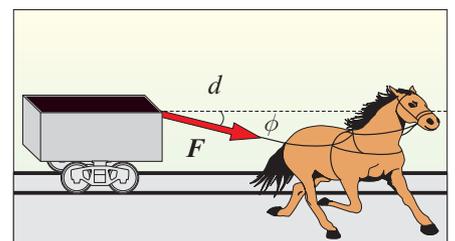
#### ATENCIÓN

Válida cuando la fuerza sea constante en todo el desplazamiento.



**A.13.-** a) Calcula el trabajo realizado sobre la vagoneta cuando ésta se desplaza 200 m arrastrada por el caballo, que hace una fuerza sobre la vagoneta de 1000 N, siendo el ángulo que forma la dirección del desplazamiento y la cuerda de  $30^\circ$ .

b) En el movimiento de rotación de la Tierra alrededor del Sol hay una fuerza, dirigida hacia el centro de la trayectoria, capaz de producir la aceleración normal. Calcula el trabajo realizado por esta fuerza sobre la Tierra cuando ésta recorre una vuelta completa alrededor del Sol. ¿Aumenta la energía de la Tierra en cada vuelta?, ¿son coherentes ambos resultados?



## 2.2 Fuerzas de trabajo nulo

Para que exista trabajo no es suficiente con que exista fuerza sino que también debe producirse un desplazamiento. Además, es necesario que la fuerza tenga al menos una componente en la misma dirección que el desplazamiento, puesto que si la fuerza y el desplazamiento son perpendiculares no se realiza trabajo.

Hay ocasiones en las que **aparentemente** hay desplazamiento, pero en realidad el punto de aplicación de la fuerza no experimenta desplazamiento. Tampoco en estos casos hay trabajo. Veamos un ejemplo:

P

**A.14.-** Una persona de 50 kg, que se encuentra en reposo, subida sobre patines empuja a la pared con una fuerza de 80 N. La extensión de los brazos supone un desplazamiento de 40 cm. Cuando deja de empujar la pared, la persona retrocede con una determinada velocidad.

- ¿Qué fuerza ejerce la pared sobre la persona? ¿Qué trabajo realiza la pared sobre la persona?
- ¿Le da energía la pared a la persona? ¿Disminuye la energía de la pared en ese proceso?
- ¿Son coherentes las respuestas que has dado a los dos apartados anteriores?
- ¿Aumenta la energía cinética de la persona? ¿Aumenta la energía total de la misma? ¿Qué transformaciones energéticas habrán ocurrido en ese proceso?

Cuando se hace una fuerza sobre un sistema que no sea rígido, hay que tener en cuenta el desplazamiento de la zona del sistema sobre la que se ejerce la fuerza. En el ejemplo anterior, suponiendo las manos y la pared indeformables, el trabajo que realiza la pared sobre la persona es nulo, ya que aunque se mueve, las manos de la persona que es sobre donde está aplicada la fuerza que hace la pared, no se desplazan. En este caso, ni se hace trabajo sobre la pared, ni la pared hace trabajo sobre la persona. Eso es coherente con el hecho de que entre la persona y la pared no hay ningún intercambio energético.

El aumento de energía cinética de la persona procede de la disminución de su propia energía interna. La pared permite que se produzca la transformación energética de forma adecuada, pero ni aporta ni sustrae energía.



P

**A.15.-** a) Un conejo salta, ¿realiza trabajo la fuerza con la que el suelo lo empuja? ¿De dónde procede la energía cinética que adquiere? ¿Aumenta la energía total del conejo?

b) Se lanza el conejo para que adquiriera la misma velocidad, ¿realiza trabajo la fuerza con la que se le ha empujado? ¿De dónde procede en este caso la energía cinética que ha adquirido el conejo? ¿Aumenta la energía total del conejo?

El trabajo realizado por una fuerza es nulo:

- \* Cuando la fuerza es nula,  $F = 0$ .
- \* Cuando no hay desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza,  $d = 0$ .
- \* Cuando el ángulo que forma la dirección de la fuerza con la dirección del desplazamiento es de  $90^\circ$ .

## 2.3 Trabajo asociado a las fuerzas de rozamiento

Las fuerzas de rozamiento que medimos son el resultado de numerosas fuerzas microscópicas que actúan entre los átomos de las dos superficies en contacto. Cuando se miden cuidadosamente las fuerzas de rozamiento su valor cambia cuando los cuerpos se desplazan. El trabajo asociado a una fuerza de rozamiento **no se puede calcular** ya que se tendría que saber el valor de cada una de las fuerzas microscópicas de rozamiento y sus desplazamientos. Eso es imposible conocerlo.

P

Lo anterior no significa que no se puedan hacer cálculos energéticos relacionados con la fuerza de rozamiento. Al estudiar el teorema de las fuerzas vivas veremos que el producto de la fuerza media de rozamiento por el desplazamiento del centro de masas de un sistema informa de la disminución de su energía cinética. A ese producto no debemos llamarle trabajo para ser coherentes con la definición que hemos dado de esta magnitud: «fuerza por el desplazamiento del punto de aplicación de esa fuerza». No se trata de una cuestión formal: el trabajo mide la variación de energía del sistema, y el producto de la fuerza media de rozamiento por el desplazamiento del centro de masas sólo mide la variación de energía cinética, pero no tiene en cuenta la variación de energía interna que acompaña al proceso.



4.3

La simulación muestra cómo cambia la energía cinética, potencial e interna de un patinador que recorre una rampa. Representa los cambios de energía frente al tiempo y frente a la posición. Se puede cambiar el coeficiente de rozamiento, la inclinación de la rampa, la masa del patinador, etc.

### EJEMPLO

- Identifica todas las fuerzas que actúan sobre un trineo de 400 kg que marcha a 8 m/s cuando se desliza sobre la nieve en una superficie horizontal teniendo en cuenta que la fuerza de rozamiento es de 500 N.
- Calcula el trabajo realizado sobre el trineo asociado a cada una de las fuerzas anteriores cuando haya recorrido 20 m.
- Calcula el aumento de energía interna del trineo y de la nieve cuando el trineo se haya parado totalmente.

a) Las fuerzas que actúan sobre el trineo son:

$$\mathbf{F}_{\text{Tierra, trineo}} = 3920 \mathbf{j} \text{ N}; \quad \mathbf{F}_{\text{nieve, trineo}} = -3920 \mathbf{j} \text{ N}; \quad \mathbf{F}_{\text{rozamiento nieve, trineo}} = -500 \mathbf{i} \text{ N};$$

b) El trabajo asociado a  $\mathbf{F}_{\text{Tierra, trineo}}$  es nulo, ya que forma un ángulo de  $90^\circ$  con el desplazamiento.

El trabajo asociado a  $\mathbf{F}_{\text{nieve, trineo}}$  es nulo, ya que también forma un ángulo de  $90^\circ$  con el desplazamiento.

El trabajo asociado a la fuerza de rozamiento no se puede calcular.

c) Cuando el trineo se pare habrá perdido toda su energía cinética.  $\Delta E_{\text{cin}} = 0 - 1/2 \cdot 400 \cdot 8^2 = -12800 \text{ J}$ .

El aumento de la energía interna de la nieve y del trineo por separado no se puede calcular. La suma de ambas será de 12800 J, igual a la pérdida de energía cinética que ha provocado la fuerza de rozamiento.

# 3

## TRABAJO Y VARIACIÓN DE ENERGÍA

Hemos dicho que el trabajo es una de las formas de calcular la variación de energía de un sistema. También sabemos que el trabajo está asociado a la existencia de fuerzas y desplazamientos del punto de aplicación de esas fuerzas.

Antes de realizar ningún cálculo debemos tener claro los límites del sistema del que queremos conocer el cambio de energía. Analicemos, como ejemplo, una situación en la que un coche arrastra un remolque. Podemos considerar como sistema sólo el coche, sólo el remolque o el coche y remolque juntos. Según consideremos un sistema u otro, cambiarán las fuerzas que son interiores o exteriores.

Si el sistema considerado es el remolque, la fuerza que hace el coche sobre el remolque es exterior, pero esa misma fuerza será interior si el sistema considerado es el remolque junto al coche.

La importancia está en que **sólo los trabajos asociados a las fuerzas exteriores pueden cambiar la energía total de un sistema**. Los trabajos asociados a las fuerzas interiores pueden medir el cambio de un tipo de energía en otro, pero la energía total del sistema sigue siendo la misma. Así pues:

El **trabajo** realizado por las **fuerzas exteriores** sobre un sistema modifica la energía total del sistema, es decir, modifica la suma de las energías cinética, potencial e interna de ese sistema.

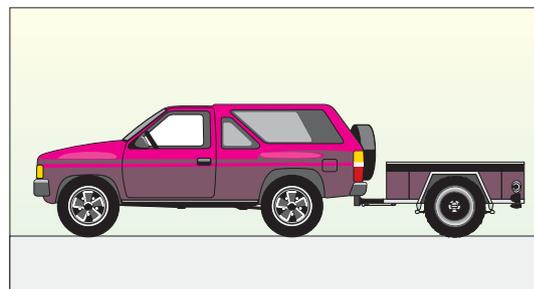
$$W_{\text{exterior}} = \Delta E_{\text{total del sistema}}$$

El **trabajo** asociado a las **fuerzas interiores** de un sistema modifica las formas de energía del sistema, o mide las transferencias de energía de unas partes del sistema a otras partes del mismo. No modifica la energía total del sistema.

$$W_{\text{interior}} \text{ NO modifica la energía total del sistema}$$

Si en el ejemplo anterior consideramos como sistema el remolque solo, podemos decir que la fuerza que hace el coche sobre el remolque,  $F_{C,R}$ , es exterior al sistema. El trabajo realizado por esa fuerza sobre el sistema modifica la energía total del remolque.

Si consideramos como sistema el formado por el coche y el remolque, el trabajo asociado a la fuerza que hace el coche sobre el remolque,  $F_{C,R}$ , no cambia la energía del sistema puesto que se trata de una fuerza interior. El trabajo asociado a esa fuerza mide en este caso la transferencia de energía del coche al remolque pero, en su conjunto, la energía total del sistema no ha cambiado.



### 3.1 Teorema de las fuerzas vivas

Hemos visto que en determinadas situaciones el trabajo que se realiza sobre un cuerpo es igual a la variación de energía cinética de ese cuerpo. Teniendo en cuenta la definición y significado del trabajo vamos a «demostrar» que la conclusión anterior es correcta y coherente con las leyes de la dinámica.

Sea  $\Sigma F$  el módulo de la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo rígido (por lo tanto totalmente indeformable), que se desplaza sobre una superficie horizontal de forma que pasa de una rapidez inicial  $v_i$  a una rapidez final  $v_f$  cuando se desplaza una distancia  $d$  en un movimiento uniformemente acelerado. Para más sencillez consideremos que el movimiento es rectilíneo, que la fuerza y el desplazamiento tienen la misma dirección y sentido y que sólo hay movimiento de traslación y no de rotación.

El trabajo realizado sobre el cuerpo por  $\Sigma F$  se calcula mediante su producto por la distancia recorrida. Por otro lado, la distancia recorrida será igual a la rapidez media multiplicada por el tiempo; en un movimiento uniformemente acelerado, la rapidez media es igual a la semisuma de la rapidez inicial y la rapidez final, mientras que la aceleración tangencial, es el cociente entre la variación de rapidez y el tiempo que tarda en ocurrir ese cambio de rapidez. Por lo tanto, si tenemos en cuenta que:

$$a_t = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} \quad d = v_m \Delta t \quad v_m = \frac{v_f + v_i}{2}$$

Podremos calcular el trabajo realizado por la suma de todas las fuerzas:

P

$$W_{\text{total ext}} = \Sigma F_{\text{ext}} d \cos\theta = (ma)(v_m \Delta t) = m \frac{v_f - v_i}{\Delta t} \frac{v_f + v_i}{2} \Delta t$$

$$W_{\text{total ext}} = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = E_{cf} - E_{ci} = \Delta E_c$$

El resultado anterior se conoce históricamente como **teorema de las fuerzas vivas**, que se puede enunciar así:

El trabajo realizado sobre un cuerpo rígido por la suma de todas las fuerzas que se ejercen sobre él es igual a la variación de su energía cinética.

Hay que considerar que:

\* Se trata del trabajo total o trabajo realizado por la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

\* Justifica la expresión  $E_c = \frac{1}{2} m v^2$  para calcular la energía cinética.

\* Más que una relación energética **es una consecuencia de aplicar la segunda ley de la dinámica**.

P

**A.16.-** Lanzas verticalmente hacia arriba una pelota de 0,50 kg. Supongamos que la mano ejerce sobre la pelota una fuerza media de 55 N y que el desplazamiento de la mano es de 0,60 m. (Suponemos un rozamiento despreciable).

- ¿Qué fuerzas actúan sobre la pelota mientras que le empuja la mano?
- Calcula el trabajo total realizado sobre la pelota en el lanzamiento.
- ¿Cuál es la variación de la energía cinética de la pelota en el lanzamiento?, ¿de dónde procede la energía cinética que ha ganado la pelota?



En el teorema de las fuerzas vivas nos hemos referido a cuerpos rígidos que son aquellos que no experimentan deformación. En el caso de un cuerpo deformable las diferentes partes pueden sufrir desplazamientos distintos. Por eso, el desplazamiento que debemos considerar es el del centro de masas (cdm) del cuerpo. Pero en ese caso, al producto de la suma de las fuerzas exteriores por el desplazamiento del centro de masas ( $d_{\text{cdm}}$ ) por el coseno del ángulo que forman, no se le puede llamar trabajo, ya que en la definición del trabajo, el desplazamiento que se tiene en cuenta es el del punto de aplicación de la fuerza. En ese caso, el enunciado del teorema de las fuerzas vivas, que sí es aplicable a cualquier tipo de cuerpos, es:

El producto de la suma de todas las fuerzas que se ejercen sobre un sistema por el desplazamiento de su centro de masas y por el coseno del ángulo que forman es igual a la variación de su energía cinética.

$$\Sigma F d_{\text{cdm}} \cos \alpha = \Delta E_c$$

Podemos aplicar el teorema de las fuerzas vivas a situaciones en las que existe rozamiento. En este caso, los cuerpos no son rígidos, por lo que tendremos que prestar mucha atención tanto al lenguaje que empleemos como, lo que es más importante, al significado de los cálculos que hagamos.

P

**A.17.-** Se arrastra 2 m una caja de 20 kg sobre una superficie horizontal tirando de ella con una fuerza de 250 N paralela al suelo. Entre la caja y la superficie hay una fuerza de rozamiento de 80 N.

- Calcula la variación de energía cinética de la caja en ese proceso.
- ¿Se puede calcular la variación total de energía de la caja? ¿Se puede calcular el trabajo total realizado sobre la caja? Explica por qué.

## 3.2 Trabajo y variación de energía potencial gravitatoria

Cuando un cuerpo se acerca o se aleja de la superficie de la Tierra cambia la energía potencial gravitatoria. A continuación demostraremos que la variación de la energía potencial gravitatoria no depende de la trayectoria que ha seguido el cuerpo, sólo de la posición inicial y final.

Supongamos que un cuerpo de masa  $m$  puede pasar del punto A al punto B, a través de la trayectoria 1 o a través de la trayectoria 2, (ver la figura adjunta). El trabajo asociado a la fuerza peso,  $F = mg$ , es independiente de la trayectoria. Si se sigue la trayectoria 1, el trabajo en el tramo horizontal es nulo ya que el ángulo entre la dirección de la fuerza y la del desplazamiento es  $90^\circ$ , mientras que en el tramo vertical es igual a  $m g (h_B - h_A)(-1)$ , puesto que el ángulo que forman fuerza y desplazamiento es  $180^\circ$ . Cualquier otra trayectoria, como la trayectoria 2, la podemos «descomponer» en muchos trocitos horizontales y otros verticales, siendo aplicable el comentario anterior. Se podrá escribir:

$$(W_A^B)_{\text{peso}} = F_{\text{peso}} d \cos 180 = m g (h_B - h_A)(-1) = -(m g h_B - m g h_A)$$

Esa independencia de la trayectoria es lo que permitió a los científicos **definir** la energía potencial gravitatoria como sigue:

El trabajo asociado a la fuerza gravitatoria entre la Tierra y un cuerpo que se desplaza desde el punto A al punto B es igual a la variación de energía potencial gravitatoria del sistema Tierra-cuerpo, cambiada de signo.

$$(W_A^B)_{\text{peso}} = -(\Delta E_p)_A^B$$

Si tenemos en cuenta la definición de diferencia de energía potencial y el valor del cálculo del trabajo de la fuerza peso podemos escribir:

$$\left. \begin{aligned} (W_A^B)_{\text{peso}} &= -(m g h_B - m g h_A) \\ (W_A^B)_{\text{peso}} &= -(\Delta E_p)_A^B \end{aligned} \right\} \Rightarrow E_{pB} - E_{pA} = m g h_B - m g h_A$$

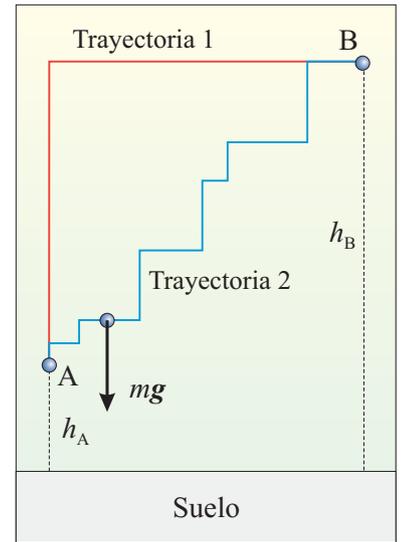
En realidad no se conoce el valor de la energía potencial en un punto, sólo se puede definir inequívocamente la diferencia de energía potencial entre dos puntos y no la energía potencial en una posición determinada.

Cuando queremos hablar de energía potencial gravitatoria en un punto, se asigna por convenio el valor de energía potencial cero a una determinada posición del cuerpo. Por ejemplo, es muy frecuente decir que la energía potencial del sistema cuerpo-Tierra es nula cuando el cuerpo está en la superficie de la Tierra. Así, cuando el cuerpo pasa a otra posición que se encuentra a una altura  $h$  sobre la superficie terrestre, la energía potencial gravitatoria del sistema cuerpo-Tierra es:

$$E_{p \text{ gravitatoria}} = m g h$$

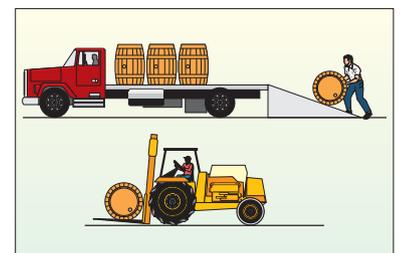
**A.18.-** Un barril se puede subir desde el suelo a la plataforma de un camión verticalmente con ayuda de una grúa, o empujándolo sobre un plano inclinado.

- ¿En qué caso hay que hacer una fuerza mayor para subirlo?
- ¿En qué caso hay que hacer un trabajo mayor sobre el barril?
- ¿En qué caso es mayor la variación de energía potencial gravitatoria? Explica tus respuestas.



### ATENCIÓN

En la demostración se ha supuesto que  $mg$  no cambia a lo largo de  $h$ . Eso sólo se cumple cuando  $h$  es muy pequeña comparada con el radio de la Tierra.



Se llaman **fuerzas conservativas** aquellas que cumplen que el trabajo que realizan no depende de la trayectoria sólo dependen de los puntos inicial y final. Además de las gravitatorias, lo cumplen las fuerzas elásticas y las electrostáticas.

$$\left( W_A^B \right)_{\text{fuerza conservativa}} = - \left( \Delta E_{\text{potencial asociada a esa fuerza}} \right)_A^B$$

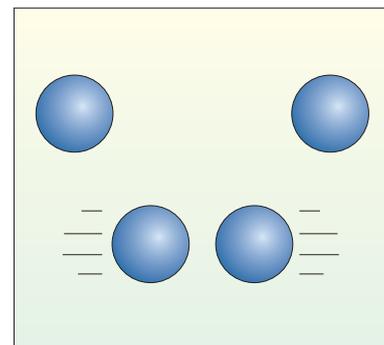
### ¿Energía potencial gravitatoria del cuerpo o del sistema Tierra-cuerpo?

¿Sería necesario realizar un trabajo para separar un cuerpo de la Tierra si no existiese atracción entre la Tierra y el cuerpo? Puesto que la existencia de la energía potencial gravitatoria depende tanto del cuerpo como de la Tierra, lo correcto es considerar que es una propiedad del sistema Tierra-cuerpo y no sólo del cuerpo.

La gran desproporción entre la masa de la Tierra y la de cualquier cuerpo dificulta la comprensión de algunos fenómenos. Si soltamos un cuerpo a 20 m de la Tierra vemos que cae y no observamos que la Tierra se mueva ni un milímetro. Parece razonable interpretar ese cambio diciendo que la energía potencial «del cuerpo» se ha transformado en energía cinética «del cuerpo».

Sin embargo, imaginemos la existencia de un sistema formado por dos cuerpos de igual masa separados una determinada distancia, que se encuentran en reposo y están aislados, de forma que no existen fuerzas exteriores sobre ellos. ¿Qué ocurrirá si están libres? Pues que la única fuerza que existe es la atracción gravitatoria, que por pequeña que sea, hará que ambos cuerpos se muevan acercándose. Dado que ambos son idénticos, los dos recorrerán la misma distancia y los dos tendrán la misma velocidad cuando lleguen a chocar.

En este caso, ¿cuál de los dos cuerpos «tiene» la energía potencial? ¿Por qué asignarlo a uno y no al otro? Lo correcto es decir que la energía potencial pertenece al sistema formado por los dos cuerpos. Cuando los cuerpos se acercan, disminuye la energía potencial gravitatoria del sistema y aumenta la energía cinética de ambos cuerpos, de forma que la energía total del sistema formado por los dos cuerpos es siempre la misma (mientras que no intercambien energía con un sistema exterior).



Sistema aislado formado por dos cuerpos de igual masa.

P

- A.19.-** Se deja caer un cuerpo de 60 kg que está en reposo a 100 m de altura.
- Calcula la velocidad con la que llega a la superficie de la Tierra.
  - Calcula la velocidad de la Tierra en ese instante. Ten en cuenta que debe cumplirse la conservación del momento lineal del sistema Tierra-cuerpo.
  - La velocidad con la que llega el cuerpo a la Tierra, ¿será exactamente la calculada en el apartado a)? No tengas en cuenta los rozamientos.

P

- A.20.-** a) Una piedra de 12 kg cae desde 20 m de altura hasta 5 m del suelo. Calcula el trabajo que realiza la fuerza peso. Calcula la variación de energía potencial del sistema Tierra-piedra. ¿Se cumple la relación anterior?
- b) ¿Ha cambiado la energía total del sistema Tierra-cuerpo? ¿Ha cambiado la energía potencial del sistema Tierra-cuerpo? Explica cómo es posible.

P

- A.21.-** A un cuerpo de 5 kg le empujamos verticalmente hacia arriba con una fuerza de 70 N mientras recorre 70 cm.
- Calcula el trabajo realizado sobre el cuerpo por la fuerza con la que le hemos empujado. ¿Qué mide ese trabajo?
  - Calcula el trabajo realizado por la fuerza peso, ¿qué mide ese trabajo?
  - ¿Qué otras variaciones energéticas habrán ocurrido? ¿Puedes calcularlas?

**A.22.-** Una niña de 20 kg se desliza por un tobogán de 3 m de longitud y 2 m de altura.

a) Calcula el trabajo asociado a la fuerza peso. ¿Qué mide ese trabajo? Calcula la variación de energía potencial gravitatoria de la niña.

b) ¿Qué otras transformaciones energéticas habrá en esa situación?

### 3.3 Trabajo y energía potencial elástica

Para deformar un cuerpo se necesita energía. Esa energía se «almacena» en forma de energía interna. En el caso de sistemas especiales como los muelles, se acostumbra a considerar a esa energía interna como un tipo especial de energía, la energía potencial elástica.

Llamamos cuerpos elásticos aquellos que cumplen la ley de Hooke. De acuerdo con lo que estudiamos en el capítulo anterior, se cumple que:  $F_{\text{ext}} = kx$ , siendo  $F$  la fuerza necesaria para producir una deformación  $x$ .

En este apartado utilizaremos la expresión  $F_{\text{elas}} = -kx$ . La fuerza elástica es la que hace el muelle oponiéndose a la causa que le produce la deformación. El signo menos indica que el sentido de la fuerza elástica es el contrario a la deformación producida.



Al tensar el arco adquiere energía potencial elástica.

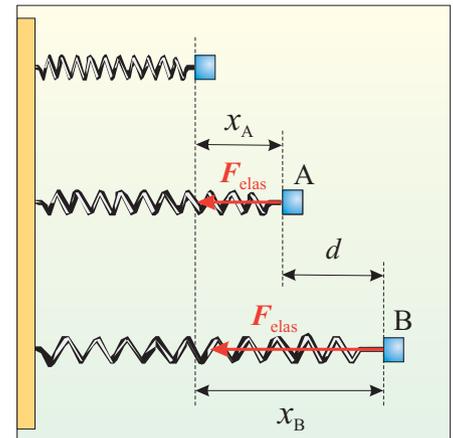
#### Trabajo cuando se acorta o alarga un muelle

El trabajo asociado a la fuerza elástica se calcula realizando el producto de la fuerza elástica por el desplazamiento del punto de aplicación de dicha fuerza. El problema que nos encontramos en este caso, es que la fuerza no es constante, sino que depende del alargamiento. Cuanto mayor es el desplazamiento del extremo del muelle (es decir, el alargamiento o acortamiento del muelle) mayor es la fuerza necesaria.

Si tenemos en cuenta que la relación entre  $F$  y  $x$  es lineal, podemos tomar el valor medio de la fuerza entre los valores extremos.

$$F_{\text{media}} = \frac{F_{\text{inicial}} + F_{\text{final}}}{2} = -\frac{kx_A + kx_B}{2} = -\frac{1}{2}k(x_A + x_B)$$

El trabajo realizado por la fuerza elástica es el producto de esa fuerza media por el desplazamiento,  $d$ , del punto de aplicación y por el coseno del ángulo que forma la fuerza elástica y el desplazamiento, que es de  $180^\circ$ .



$$d = x_B - x_A$$

$$(W_A^B)_{\text{elas}} = F_{\text{elas media}} d \cos 180 = -\frac{1}{2}k(x_A + x_B)(x_B - x_A)$$

$$(W_A^B)_{\text{elas}} = -\left(\frac{1}{2}kx_B^2 - \frac{1}{2}kx_A^2\right)$$

El que ese trabajo sea independiente de la trayectoria es lo que permitió a los científicos **definir** la energía potencial elástica como sigue:

$$(W_A^B)_{\text{fuerza elástica}} = -(\Delta E_{\text{p elástica}})_A^B$$

Si tenemos en cuenta la definición de diferencia de energía potencial y el valor del cálculo del trabajo de la fuerza elástica podemos escribir:

$$(E_{p \text{ elástica}})_B - (E_{p \text{ elástica}})_A = \frac{1}{2} k x_B^2 - \frac{1}{2} k x_A^2$$

Lo que conocemos sin duda son las variaciones de energía potencial elástica. Para poder hablar de valores de energía potencial elástica es necesario establecer un valor de referencia que se establece por un **acuerdo o convenio**. Es frecuente considerar que la energía potencial elástica de un muelle es nula cuando no ha sido deformado,  $x = 0$ . A partir de ese convenio, podemos decir que la energía potencial elástica de un muelle cuando está comprimido o alargado una distancia  $x$  es:

$$E_{p \text{ elástica}} = \frac{1}{2} k x^2$$

### ATENCIÓN

Debes recordar que  $x$  representa la deformación del muelle, es decir lo que se ha alargado o acortado respecto a su longitud cuando no está sometido a fuerza exterior alguna.

P

**A.23.-** Un muelle tiene una longitud de 20 cm cuando no está sometido a ninguna deformación. Si lo fijamos a una pared y tiramos del otro extremo con 200 N observamos que su longitud alcanza los 24 cm.

- Calcula la constante elástica del muelle y, con ayuda de ese dato, su energía potencial elástica cuando su longitud es 24 cm.
- Calcula la energía potencial elástica que tiene el muelle anterior cuando su longitud sea de 14 cm.
- Calcula el trabajo que tendremos que hacer sobre el muelle para alargarlo desde una longitud de 22 cm hasta que alcance los 24 cm. ¿En cuánto habrá cambiado su energía potencial elástica?

Para terminar esta apartado se puede resumir las relaciones fundamentales que hemos encontrado entre el trabajo y las variaciones de energía:

P

- El trabajo **siempre** está asociado a cambios de energía.
- El trabajo realizado por las fuerzas exteriores cambia la energía total del sistema. Mide la transferencia de energía de un sistema a otro.
- El trabajo realizado por las fuerzas interiores de un sistema no cambia la energía total del sistema. Su valor nos informa de cambios de un tipo de energía en otro o transferencias de energía de una parte a otra parte del sistema.
- El producto de la suma de las fuerzas que actúan sobre un sistema por el desplazamiento de su centro de masas y por el coseno del ángulo que forman las direcciones de la suma de las fuerzas y del desplazamiento es igual a la variación de su energía cinética.

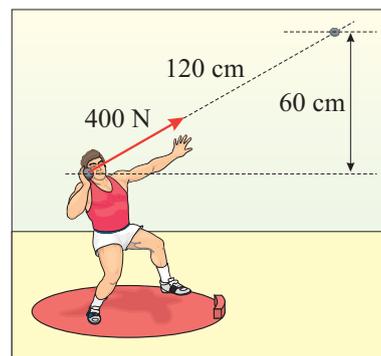
### ATENCIÓN

Es muy importante delimitar claramente el sistema para tener claro si las fuerzas que actúan son interiores o exteriores.

P

**A.24.-** Un atleta lanza una bola de 8 kg empujándole a lo largo de 120 cm con una fuerza de 400 N cuya dirección es la misma que la dirección del desplazamiento. Esa dirección forma un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal. La diferencia de altura respecto al suelo de la bola al principio y final del movimiento es 60 cm.

- Calcula el trabajo que hace el atleta sobre la bola.
- Calcula el trabajo total realizado sobre la bola.
- Calcula la variación de energía cinética de la bola.
- Calcula la variación de energía del sistema Tierra-bola.
- Establece las relaciones entre las distintas magnitudes calculadas.



# 4

## PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Es una ley general de la naturaleza tan sólidamente establecida que decimos que es un principio. Lo formulamos de la siguiente manera:

En todas las transformaciones energéticas cambia la forma en la que se presenta la energía, pero la cantidad total es siempre igual, es decir, la suma de las energías de todos los sistemas que participan en una transformación es igual antes y después de la misma.

### 4.1 ¿Cómo se llegó al principio de conservación de la energía?

No hubo un sólo hecho que fuese el origen de un principio tan general como el de la conservación de la energía, sino que fueron un amplio conjunto de factores los que contribuyeron a su génesis. Algunos de ellos son:

#### Las máquinas necesitan energía

Todas las máquinas conocidas de los siglos XVI y XVII (ruedas hidráulicas y molinos de viento) necesitan algo para que funcionen: un salto de agua o la acción del viento. La máquina de vapor del siglo XVIII consumía carbón, por cierto que en grandes cantidades debido a su bajo rendimiento.

Todos los intentos de construir máquinas capaces de hacer transformaciones sin tener que aportarle nada fracasaron. Hoy sabemos que ninguna máquina de este tipo puede funcionar pero, en el siglo XVIII, antes de que se desarrollase el estudio de la energía, se estudiaban detenidamente cada una de las propuestas hasta encontrar dónde estaba el fallo. La inutilidad de las numerosas tentativas les llevó a convencerse de la imposibilidad de que se pudiese construir alguna máquina así.

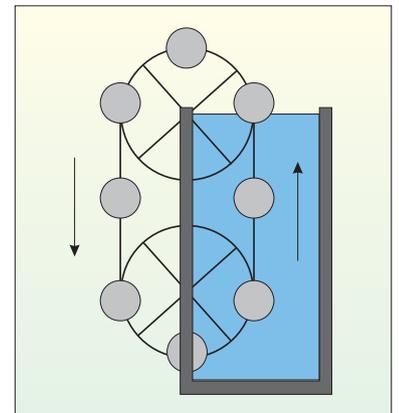
#### El abandono del modelo del calórico

Durante el siglo XVIII se consideraba que el calor era un fluido imponderable (sustancia material que no tenía masa). Por diferentes razones, este modelo fue abandonado en la primera mitad del siglo XIX.

#### Experiencias de Joule: equivalencia trabajo-calor

A mediados del s. XIX el trabajo era una magnitud adecuada para medir la capacidad de las máquinas, mientras que el calor se utilizaba para medir los cambios que ocurrían en las interacciones térmicas. De hecho, se utilizaban unidades diferentes (para el trabajo el equivalente a lo que hoy llamamos julio, para el calor el equivalente a lo que hoy llamamos caloría).

El físico inglés James-Prescott Joule (1818-1889) estaba interesado en el rendimiento de las máquinas. Su primer objetivo fue diseñar motores eléctricos que fuesen competitivos frente a las máquinas de vapor, aunque no obtuvo buenos resultados.



El agua empuja a las bolas hacia arriba. ¿Girarán las ruedas? ¿Se podrá utilizar ese sistema para mover un motor sin necesidad de tener que aportar ningún combustible?

En su experiencia más conocida, Joule midió la elevación de temperatura que experimenta una determinada cantidad de agua debido al rozamiento de unas paletas movidas por la caída de un par de pesas. De las medidas efectuadas pudo concluir que siempre se obtiene el mismo valor de equivalencia entre el efecto mecánico y el calorífico, achacando las pequeñas diferencias a la dificultad de llevar a cabo medidas suficientemente precisas. En 1847, Joule indica: «...**Cuando el agua era agitada por la acción de una rueda de paletas que giraba en su interior, la cantidad de calor ganada estaba en proporción exacta de la «fuerza<sup>1</sup> mecánica» perdida. La fuerza mecánica capaz de elevar un peso de 428,8 gramos a una altura de 1 metro se encuentra equivalente a la cantidad de calor necesaria para elevar en 1 grado centígrado la temperatura de 1 gramo de agua...**». Traducido al lenguaje actual, había calculado que 4,21 julios equivalen a una caloría.

Las experiencias de Joule hay que enmarcarlas en el interés por la máquina de vapor. Intentaba comprobar la relación entre el trabajo realizado por una máquina de vapor y el «calor gastado en ella». Otros científicos estaban empeñados en lo mismo.

En este clima se comprende que se llegase al principio de conservación de la energía. Hermann von Helmholtz (1821-1894), decía en 1847: «... **se ve que el universo posee una provisión de fuerza disponible que no puede crecer ni disminuir. La cantidad de fuerza capaz de actuar, que existe en la naturaleza inorgánica, es eterna e invariable, igual que la materia. Enunciaremos esto como la ley general que he llamado Principio de Conservación de la Fuerza...**»

La obra de Helmholtz es muy importante porque además de proponer una formulación matemática del principio de conservación de la energía también recalcó su papel unificador.

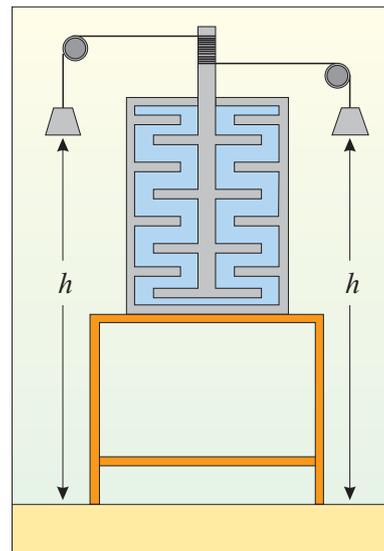
William Thomson, físico inglés que conocía bien la ingeniería, daba por ello importancia a conceptos como el efecto mecánico o trabajo. Valoró muy positivamente los trabajos de Joule, que habían sido acogidos con excecpticismo por la mayoría de los científicos. Pensaba que los experimentos de Joule ponían de manifiesto que el «**efecto mecánico puede convertirse en calor**», pero consideraba imposible el paso inverso, es decir, la «**conversión del calor en trabajo**». Al final se convenció de la posibilidad de obtener «**efecto mecánico a partir del calor**», lo que le llevó a formular con total claridad el principio de conservación de la energía.

Rudolf Clausius (1822-1888), físico alemán, conocía los trabajos de todos los científicos de la época. En su artículo «Sobre la fuerza motriz del calor» publicado en 1850 delimitó claramente la situación. Admite como incontestable la «**equivalencia de calor y trabajo**» demostrada por las experiencias de Joule. En Clausius se encuentra la formulación matemática del principio de conservación de la energía que en términos actuales podemos escribir de la forma:

$$(E_p + E_c + E_i)_{\text{inicial}} + Q + W = (E_p + E_c + E_i)_{\text{final}}$$

$Q$  y  $W$  se consideran positivos cuando se refieren a energía ganada por el sistema y negativos cuando se refieren a energía perdida por el sistema.

La ecuación anterior indica que la cantidad total de energía que tiene un sistema en un momento (situación inicial) más la cantidad de energía ganada (o perdida) bien a causa de una diferencia de temperatura (calor) o debida a la acción de una fuerza exterior que actúa durante el desplazamiento del cuerpo (trabajo), es igual a la energía que tiene el sistema al final de esa transformación (situación final).



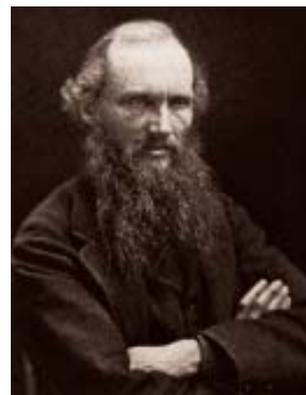
Experiencia de Joule

Helmholtz distinguía perfectamente entre la fuerza cuyo significado actual sería el de energía, y la fuerza de tipo gravitatorio o eléctrico, dependiente de la inversa del cuadrado de la distancia. De hecho, poco después, cuando Thomson propuso el nombre energía, Helmholtz lo adoptó rápidamente.



#### 4.4

Simulación de la experiencia de Joule. Permite modificar la masa del cuerpo que cae y la altura desde la que lo hace, así como la masa de agua en el calorímetro y su temperatura inicial. La simulación calcula la temperatura final del agua.



William Thomson (1824-1907), recibió el título de Lord Kelvin, y en su honor la unidad de temperatura del sistema internacional se llama kelvin.

<sup>1</sup> En esa fecha todavía no se había introducido el término energía y se usaba confusamente «fuerza» tanto para lo que hoy llamamos fuerza como para lo que llamamos energía. En palabras actuales, Joule se refiere a la energía potencial gravitatoria.



## 4.5

La simulación calcula el trabajo realizado sobre un cuerpo y su variación de energía cuando se mueve sobre un plano horizontal o inclinado. Podemos cambiar la fuerza exterior aplicada, el coeficiente de rozamiento y la velocidad inicial del cuerpo.



## 4.6

Puede utilizarse para representar el trabajo realizado por la fuerza exterior aplicada, por la fuerza peso, por la fuerza de rozamiento y el trabajo total. También representa la energía cinética, potencial e interna. Se puede cambiar una gran cantidad de parámetros.

### ATENCIÓN

No tiene limitaciones.  $Q$  y  $W$  incluyen todas las formas posibles de transferencia de energía de un sistema, incluida la energía emitida o absorbida por radiación.

**A.25.-** a) Haz una breve síntesis de los factores que influyeron en el establecimiento del principio de conservación de la energía. No se trata de que resumas la lectura, sino de que intentes sacar las ideas fundamentales de la misma.

b) ¿Crees que el principio de conservación de la energía fue el fruto de un sólo científico? Explica tu respuesta.

## Principio de conservación de la energía mecánica

Se trata de un caso particular del principio general de conservación de la energía aplicado a situaciones en las que sobre un sistema no se realiza trabajo ni se transfiere calor. Si además, suponemos que no varía la energía interna del sistema, concluimos que la suma de la energía cinética y potencial del sistema es constante. A la suma de la energía potencial y cinética de un sistema se le llama energía mecánica y al trabajo que se realiza para cambiar esos tipos de energía, se llama también trabajo mecánico.

$$(E_p + E_c)_{\text{inicial}} = (E_p + E_c)_{\text{final}} = E_{\text{mecánica}}$$

## 4.2 Primer principio de la termodinámica

El principio de conservación de la energía podemos escribirlo de otra forma:

$$Q + W = (E_p + E_c + E_i)_{\text{final}} - (E_p + E_c + E_i)_{\text{inicial}} = \Delta E_p + \Delta E_c + \Delta E_i$$

Cuando el sistema no cambia de energía cinética ni de ningún tipo de energía potencial, el principio de conservación de la energía puede escribirse:

$$Q + W = E_{i(\text{final})} - E_{i(\text{inicial})} = \Delta E_{\text{interna}}$$

$$Q + W = \Delta U$$

$\Delta U$  representa la variación de energía interna del sistema. Expresado de esta manera, el principio de conservación de la energía se conoce como **primer principio de la termodinámica**.

## EJEMPLO

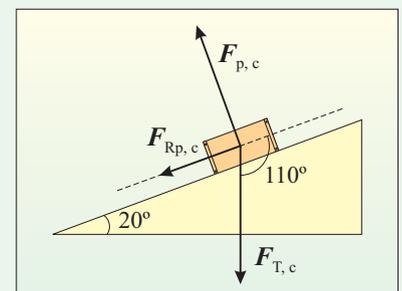
Se lanza un cuerpo de 3 kg con rapidez de 12 m/s para que ascienda por un plano inclinado  $20^\circ$  sobre la horizontal. La fuerza de rozamiento entre el cuerpo y el plano es de 18 N.

- Calcula la distancia que recorre antes de pararse utilizando el teorema de las fuerzas vivas.
- Calcula la variación de energía potencial gravitatoria y relaciónala con el trabajo de la fuerza que corresponda.
- Calcula la variación de energía interna conjunta del cuerpo que asciende y del plano inclinado y la que corresponde sólo a la variación de energía interna del cuerpo que asciende.

a) El teorema de las fuerzas vivas se refiere a la suma de las fuerzas y a la variación de energía cinética. Si consideramos como sistema el cuerpo, las fuerzas que actúan sobre él son la que hace la Tierra,  $F_{T,c}$ , la que hace el plano para sostenerlo y la fuerza de rozamiento. Al aplicar el teorema de las fuerzas vivas podemos escribir:

$$F_{T,c} \cdot d \cdot \cos 110 + F_{p,c} \cdot d \cdot \cos 90 + F_{R,p,c} \cdot d \cdot \cos 180 = E_{c_{\text{final}}} - E_{c_{\text{inicial}}}$$

$$-10,1 d + 0 - 18 d = 0 - 216; d = 7,69 \text{ m}$$



b) Si consideramos ahora el sistema cuerpo-Tierra, la variación de energía potencial gravitatoria está relacionada con la fuerza interna entre la Tierra y el cuerpo.

$$(W_A^B)_{\text{peso}} = - (\Delta E_p)_A^B; \quad 29,4 \cdot 7,69 \cdot \cos 110 = - (\Delta E_p)_A^B; \quad (\Delta E_p)_A^B = 77,3 \text{ J}$$

Esa variación positiva significa que al final el sistema tiene más energía potencial gravitatoria que al principio, lo que es coherente con la situación descrita.

c) Para calcular la variación de energía interna total consideraremos como sistema el formado por el cuerpo, el plano y la Tierra. Sobre ese sistema no actúan fuerzas exteriores, su energía total permanece constante por lo que:

$$Q + W = \Delta E_p + \Delta E_c + \Delta E_i; \quad 0 + 0 = 77,3 - 216 + \Delta E_i; \quad \Delta E_i = 138,7 \text{ J}$$

La energía interna aumenta, como es lógico, debido a la fuerza de rozamiento que hace disminuir la energía mecánica. Lo que no podemos calcular es el aumento de energía interna del cuerpo que sube.

**A.26.-** a) Una persona de 60 kg realiza un salto de altura de forma que su centro de gravedad que estaba a 1 m del suelo debe superar los 1,80 m, ¿cuánto debe aumentar, como mínimo, la energía potencial del sistema Tierra-persona?

b) ¿Se realiza trabajo sobre el sistema Tierra-persona? Explica la respuesta, identificando en su caso aquella fuerza que realiza ese trabajo.

c) ¿Qué sistema disminuye su energía para que pueda aumentar la energía potencial gravitatoria del sistema Tierra-persona?

d) Después del salto desaparecen la energía potencial gravitatoria y la cinética. ¿No se cumple el principio de conservación de la energía? Explica la respuesta.



**A.27.-** Una piedra de 16 kg que está en reposo a 200 m sobre el suelo, cae de forma que llega al suelo con rapidez de 50 m/s. Toma  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

a) Usando consideraciones energéticas demuestra que ha existido rozamiento aire-piedra. Calcula la fuerza de rozamiento suponiendo que es constante.

b) De los diferentes cambios energéticos que ocurren en ese proceso cuantifica aquellos que puedas e indica aquellos que no se pueden calcular.

c) Discute en qué condiciones puede volatilizarse un meteorito.



Estrella fugaz (meteorito)

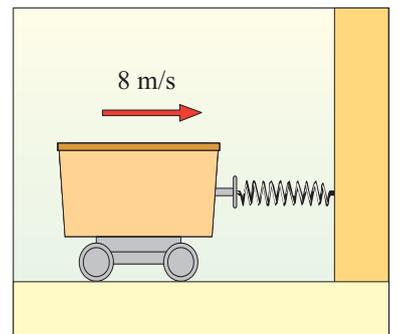
**A.28.-** Una vagoneta de 80 kg marcha con velocidad de 8 m/s cuando choca contra un tope formado por un muelle ( $k = 70000 \text{ N/m}$ ) unido a la pared.

a) Indica si desde que comienza el choque hasta que  $v = 0$ , cambia la fuerza que hace el muelle sobre la vagoneta. ¿Cambia la energía cinética de la vagoneta? ¿Se realiza trabajo sobre la vagoneta?

b) Calcula el máximo acortamiento del muelle.

c) Calcula el trabajo realizado por el muelle sobre la vagoneta y el realizado por la vagoneta sobre el muelle hasta ese momento.

d) Si no hay rozamiento, al final la vagoneta se mueve con la misma rapidez en sentido contrario. Demuéstralo aplicando el PCE.



**A.29.-** Supongamos que la temperatura del aire y la temperatura del suelo es de  $0^\circ\text{C}$ . Cogemos un trozo de hielo de 2 kg que también se encuentra a  $0^\circ\text{C}$  y lo deslizamos sobre otro trozo de hielo también a  $0^\circ\text{C}$ . La fuerza de rozamiento entre ambos trozos de hielo es 8 N. Si tiramos del trozo superior con una fuerza de 20 N durante 2 m, observamos que un poco de hielo se funde, mientras que la temperatura se mantiene siempre a  $0^\circ\text{C}$ .

a) ¿Qué transformaciones energéticas ocurren en ese proceso? ¿Podemos hablar de calor en algún momento de ese proceso?

b) ¿Cuál será la rapidez final del trozo de hielo?

c) Calcula cuánto hielo total se habrá fundido. ¿Puedes calcular cuánto hielo del trozo de 2 kg se habrá fundido? Explica por qué.

## Principio de conservación de la energía y rendimiento

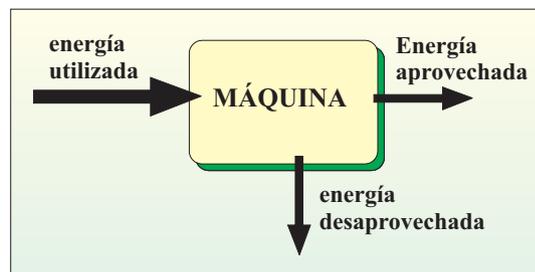
En las máquinas se producen transformaciones energéticas. Se aporta una determinada cantidad de energía (la llamamos energía utilizada) y se obtiene otra cantidad de energía en la forma que nos interesa (la llamamos energía aprovechada). En una máquina ideal, la energía utilizada es igual a la aprovechada. En las máquinas reales, sin embargo, la energía aprovechada es siempre menor que la energía utilizada.

Llamamos **rendimiento** de una máquina a la proporción de energía aprovechada respecto a la que ha sido utilizada:

$$r = \frac{\text{energía aprovechada}}{\text{energía utilizada}} \cdot 100$$

De igual forma que se distingue entre energía utilizada y energía aprovechada, también debemos especificar si la potencia a la que nos estamos refiriendo es la eficaz. La **potencia eficaz** es la que está relacionada con la energía aprovechada. Así, la potencia eficaz de una máquina se calcula con la expresión:

$$\text{Potencia eficaz} = \frac{\text{energía aprovechada}}{\text{tiempo que dura la transferencia}}$$



Quemador de un calentador de butano.

**A.30.-** a) Calcula la potencia eficaz de un calentador de butano capaz de calentar 6 L de agua por minuto, suponiendo que el agua entra al calentador a 15 °C y sale a 47 °C.

- b) ¿Qué cantidad mínima de propano gastará el calentador en 5 minutos?  
c) Calcula el rendimiento del calentador si se gastaron 130 g de propano.  
d) ¿Se habrá conservado la energía? ¿Desaparece la energía desaprovechada?

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

**1.** Ponemos un vaso con 200 g de agua a 60 °C dentro de una habitación aislada en la que hay aire a 20 °C. Suponiendo que en la habitación hay 40 kg de aire (calor específico del aire = 0,24 cal/g°C), calcula:

- a) La temperatura del aire y del agua al cabo de un tiempo suficiente.  
b) La variación de energía interna del agua, del aire y la total.  
c) Calcula el calor y el trabajo relacionados con el vaso en ese proceso.

a)  $t_{\text{agua}} = t_{\text{aire}} = 20,82 \text{ °C}$ ; b)  $(\Delta E_i)_{\text{agua}} = -32754 \text{ J}$ ,  $(\Delta E_i)_{\text{aire}} = 32905 \text{ J}$ ,  $(\Delta E_i)_{\text{total}} = 0 \text{ J}$ ; c)  $Q = -32754 \text{ J}$ ,  $W = 0$

**2.** Un barco es impulsado por la acción del viento sobre sus velas de forma que se mueve con rapidez constante a pesar de que sobre el barco actúa una fuerza de rozamiento que se opone al avance del barco de 4000 N.

a) Calcula la variación de energía cinética que provocaría la fuerza de rozamiento durante 100 m si no hubiera viento.

b) Calcula la cantidad de aire que habrá chocado contra las velas del barco cuando haya avanzado 100 m, si el aire que incide sobre la vela lleva una velocidad de 20 m/s y la velocidad del aire a la salida de la vela es de 6 m/s.

a)  $(\Delta E_c)_{\text{barco}} = -400000 \text{ J}$ ; b)  $m_{\text{aire}} = 2198 \text{ kg}$

**3.** Se reproduce la experiencia de Joule haciendo que el agua sea agitada por una rueda de paletas accionada por dos bloques de hierro de 14 kg cada uno que caen verticalmente una altura de 2 m. La masa de agua a calentar es de 7 kg. Los bloques de hierro se vuelven a levantar y se dejan caer 20 veces.

- a) ¿Cuál será el máximo aumento de temperatura que puede experimentar el agua en esa experiencia?  
b) Si la temperatura del agua hubiese aumentado 0,36 °C, ¿qué valor se deduciría para el equivalente mecánico del calor? Dicho de otro modo, ¿qué relación entre el julio y la caloría se deduce de esa experiencia?  
c) ¿Por qué podría haber sido menor el aumento de temperatura?

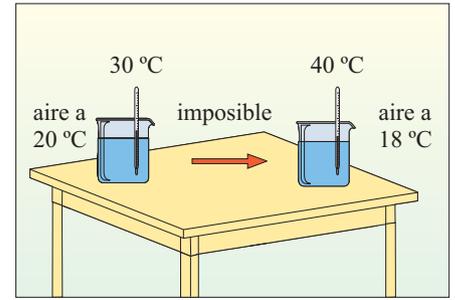
a)  $\Delta t_{\text{agua}} = 0,38 \text{ °C}$ ; b) 4,36 J/cal

# 5

## SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

¿Es suficiente con el principio de conservación de la energía (PCE) para interpretar los fenómenos térmicos? Sabemos que cuando dos sistemas cuyas temperaturas son diferentes interactúan disminuye la energía del que está a mayor temperatura (sistema A) y aumenta la energía del que está a menor temperatura (sistema B). El PCE dice que si esa interacción ocurre aislada del exterior, la cantidad de energía que pierde el sistema A es igual a la cantidad de energía que gana el sistema B.

Ahora bien, ¿sería posible que aumente la temperatura del sistema A que está a mayor temperatura mientras disminuye la del sistema B cuya temperatura es menor? Es decir, ¿es posible que pase energía del sistema B al sistema A? Ese proceso no contradice el PCE puesto que la energía que pierda el sistema B será la misma que gane el sistema A. Sin embargo, nunca se ha observado que un proceso de ese tipo ocurra espontáneamente.



	INICIAL	FINAL
Sistema A: agua	30°C	40°C
Sistema B: aire	20°C	18°C

### Enunciado de Carnot del segundo principio de la termodinámica

Sadi Carnot (1796-1832), que estudiaba las interacciones térmicas con el objetivo de mejorar el rendimiento de las máquinas de vapor, expuso el enunciado más intuitivo del segundo principio de la termodinámica:

El intercambio de energía entre dos sistemas debido a la diferencia de temperatura entre ellos se hace siempre, espontáneamente, desde el sistema que está a mayor temperatura al que está a menor temperatura.

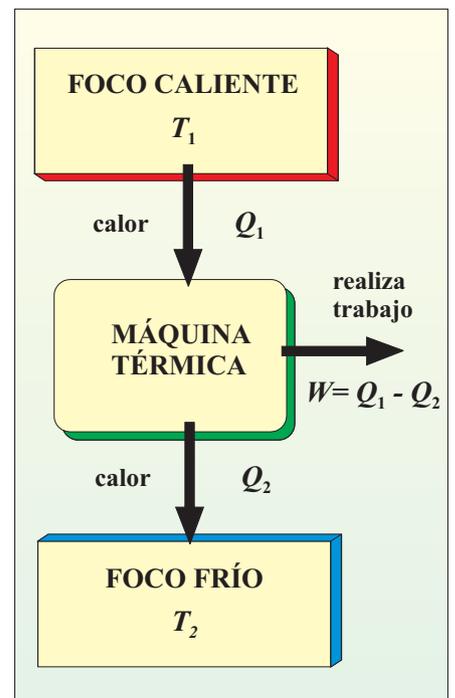
Aunque la afirmación anterior parece evidente, al generalizarla como un principio fundamental, no se refiere sólo a lo que se ha observado sino que niega la posibilidad de que exista algún proceso que esté en contra de lo que se afirma. Es importante señalar que el principio anterior no puede deducirse de ninguna otra ley de la física. Las leyes de la dinámica o el principio de conservación de la energía no prohíben un proceso en el que haya transferencia espontánea de energía de un cuerpo a otro a mayor temperatura.

**A.31.-** En un frigorífico la energía pasa de los cuerpos que están a menor temperatura (aquellos que están en el frigorífico) a cuerpos que están a mayor temperatura (el aire exterior). ¿Está en contra ese proceso de lo que dice el segundo principio de la termodinámica? ¿Por qué?

### Segundo principio y máquinas térmicas

A partir de 1850 los trabajos de Thomson (Lord Kelvin) y de Clausius permitieron explicar las máquinas térmicas de forma similar a como se hace ahora. Recordemos que el foco caliente de la máquina de Watt era la caldera, el foco frío era el condensador y que al vapor se le llamaba el fluido activo.

La máquina térmica se interpretó de la siguiente manera: el foco caliente cede, a través del fluido activo, parte de su energía interna a la máquina térmica (como es una transferencia de energía debida a una diferencia de temperatura, a la cantidad de energía la llamamos calor y representamos por  $Q_1$ ).



Interpretación de Clausius-Thomson

La máquina térmica cede al foco frío una cierta cantidad de energía que la representamos por  $Q_2$ .

El trabajo,  $W$ , que puede realizar la máquina térmica será precisamente igual a la diferencia entre la cantidad de energía que haya recibido del foco caliente ( $Q_1$ ) y la cantidad de energía que haya cedido al foco frío ( $Q_2$ ).



## 4.7

Te puedes descargar simulaciones del funcionamiento de los motores de combustión.

**A.32.-** Compara el esquema propuesto por Clausius y Thomson para una máquina térmica con el esquema del motor de un coche.

### Rendimiento teórico de una máquina térmica

Sólo parte del calor cedido a una máquina térmica puede aprovecharse para realizar un trabajo. Clausius demostró que el valor máximo posible del rendimiento de una máquina térmica que funcione entre dos focos a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  es:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

A una máquina que tuviese ese rendimiento se le llama **máquina ideal**. El rendimiento de una máquina real que trabaje entre las mismas temperaturas será siempre menor. Las temperaturas se deben expresar en la escala absoluta, es decir sumando 273,15 al valor de la temperatura en la escala centígrada:  $T = t + 273,15$ .

Con frecuencia se expresa el rendimiento en %. Ese valor es igual al calculado con la expresión anterior multiplicado por 100.

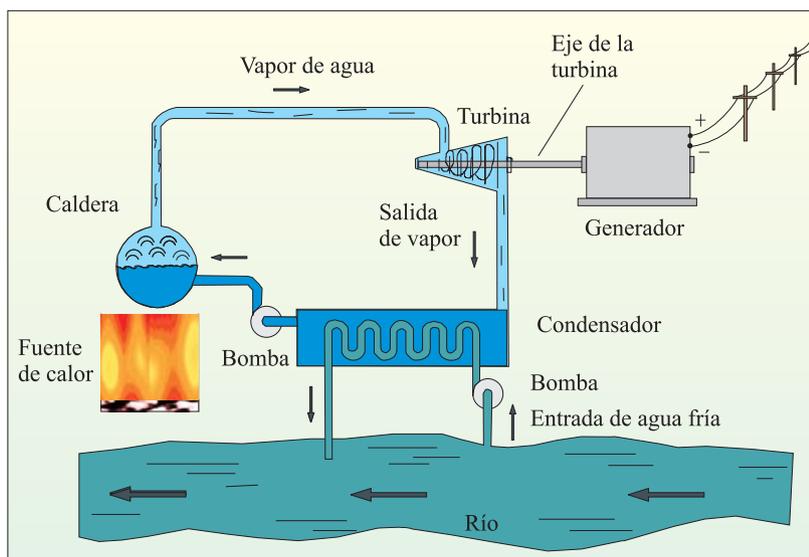


Máquina de vapor

**A.33.-** a) ¿Puede ser el rendimiento de una máquina ideal mayor o igual que la unidad? Explica por qué.

b) Si el rendimiento de una máquina es del 30 % ¿qué trabajo podrá realizar por cada 1000 J que reciba del foco caliente? ¿Qué pasará con el resto de la energía hasta los 1000 J?

c) Actualmente, las centrales eléctricas térmicas trabajan entre las temperaturas de 380 y 40 °C. ¿Cuál será el rendimiento máximo que se podrá obtener? Si el rendimiento real es del 40 %, ¿a qué crees que será debido?



Esquema de una central térmica para producción de corriente eléctrica

## Diferencia entre energía total y energía utilizable

Según el PCE la cantidad total de energía es siempre la misma, es decir, «**la energía no se gasta**». Sin embargo, en cuanto a su utilidad práctica, la energía no puede volver a ser empleada para realizar un proceso útil una vez que ya ha sido utilizada. En ese sentido, se puede decir que la energía se degrada.

La energía cinética o la energía potencial pueden ser aprovechadas totalmente en la realización de un trabajo (al menos teóricamente). Pero la energía interna que depende de la temperatura del sistema, no puede ser aprovechada en su totalidad. En el mejor de los casos, con una máquina ideal, sólo es posible aprovechar una fracción de la energía total disponible. Algunos autores distinguen entre la energía total y la energía disponible para ser utilizada, a la que llaman **exergía**.

**A.34.-** Disponemos de 100 J de energía interna en un foco que está a 300 °C siendo la temperatura ambiente de 20 °C.

a) ¿Qué cantidad de esa energía sería aprovechable en una máquina térmica ideal? ¿Cuál sería la exergía?

Supongamos que ponemos en contacto el foco anterior con otro a 100 °C y que pasan los 100 J anteriores de un foco al otro.

b) ¿Seguimos teniendo la misma cantidad de energía? ¿Qué cantidad de energía podríamos aprovechar de los 100 J en el foco a 100 °C?

c) Si llamamos energía disipada a la pérdida de energía útil, ¿cuál ha sido la energía disipada en el proceso anterior?

La exergía, o energía utilizable de origen térmico, depende de la cantidad total de energía y de las condiciones entre las que opere el sistema que permite aprovechar la energía. Por ejemplo, depende de la temperatura del foco frío, pues cuanto menor sea ésta mayor podría ser el rendimiento de una máquina que trabajase utilizando ese foco frío. Puede que ahora entiendas mejor que la energía total siempre es la misma, pero que la energía utilizable puede disminuir.

# 6

## INTRODUCCIÓN A LA ENTROPÍA

La idea de disipación fue cuantificada con la introducción de una magnitud, la **entropía**, que se definió como sigue:

La variación de entropía de un sistema es igual al cociente entre el calor intercambiado y la temperatura a la que se produce ese intercambio.

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

La entropía de un sistema puede aumentar o disminuir, pero la suma de la entropía de todos los sistemas que participan en un determinado proceso sólo puede aumentar o, en el mejor de los casos, no cambiar.

Para calcular el cambio de entropía que experimenta un sistema debemos saber el calor que ha ganado o perdido y dividirlo por la temperatura a la cual haya ocurrido ese intercambio energético. Dado que en muchas ocasiones el intercambio energético va acompañado de un cambio de temperatura del sistema, para calcular de forma aproximada la variación de entropía dividiremos el calor intercambiado entre la temperatura



Si el sistema se enfría disminuye su entropía. Si se calienta, aumenta su entropía.

media a la que ha ocurrido el proceso, (el procedimiento correcto es más complicado y queda fuera del alcance de este curso).

En todo proceso en el que se produce una disipación o degradación de energía se produce el aumento neto de entropía del conjunto de todos los sistemas que intervienen en ese proceso. La relación que permite calcular la energía disipada en un proceso en el que existen dos focos térmicos es:

$$\text{energía disipada} = T_{\text{foco frío}} \cdot \Delta S_{\text{total}}$$

## EJEMPLO

Ponemos en contacto un foco a 300 °C con otro foco a 100 °C siendo la temperatura ambiente de 20 °C. Supongamos que pasan 100 J del foco a 300 °C al que está a 100 °C, sin que cambie apreciablemente la temperatura de ambos. (Aunque eso es imposible, podemos pensar que son focos «muy grandes» de forma que esos 100 J no suponen una variación apreciable de la energía interna de cada foco).

- Calcula la variación de entropía asociada al proceso anterior.
- Calcula la energía disipada a partir de la expresión que la relaciona con la variación de entropía.

a) El foco a 300 °C pierde energía, así  $Q_{\text{foco } 300\text{ °C}} = -100\text{ J}$ ; el foco a 100 °C gana energía, así  $Q_{\text{foco } 100\text{ °C}} = 100\text{ J}$ . La variación de entropía del proceso será la suma de la relacionada con la transferencia de calor de ambos focos:

$$\Delta S = \frac{-100}{573,15} + \frac{100}{373,15} = 0,0935\text{ J/K}$$

b) La energía disipada es:  $\text{energía disipada} = T_{\text{foco frío}} \cdot \Delta S_{\text{total}} = 293,15 \cdot 0,0935 = 27,41\text{ J}$ .

**A.35.-** En un horno, que podemos suponer mantiene su temperatura constante a 400 °C, se pierde por conducción a través de sus paredes una cantidad de energía de 2000 cal/s. Esta energía es ganada por el medio exterior cuya temperatura es de 15 °C que también podemos suponer constante.

- Calcula el aumento de entropía total en cada segundo.
- Calcula la pérdida de energía total en cada segundo.
- Calcula la pérdida de energía útil, o energía disipada en cada segundo.

En esta unidad se han estudiado dos principios fundamentales de la ciencia.

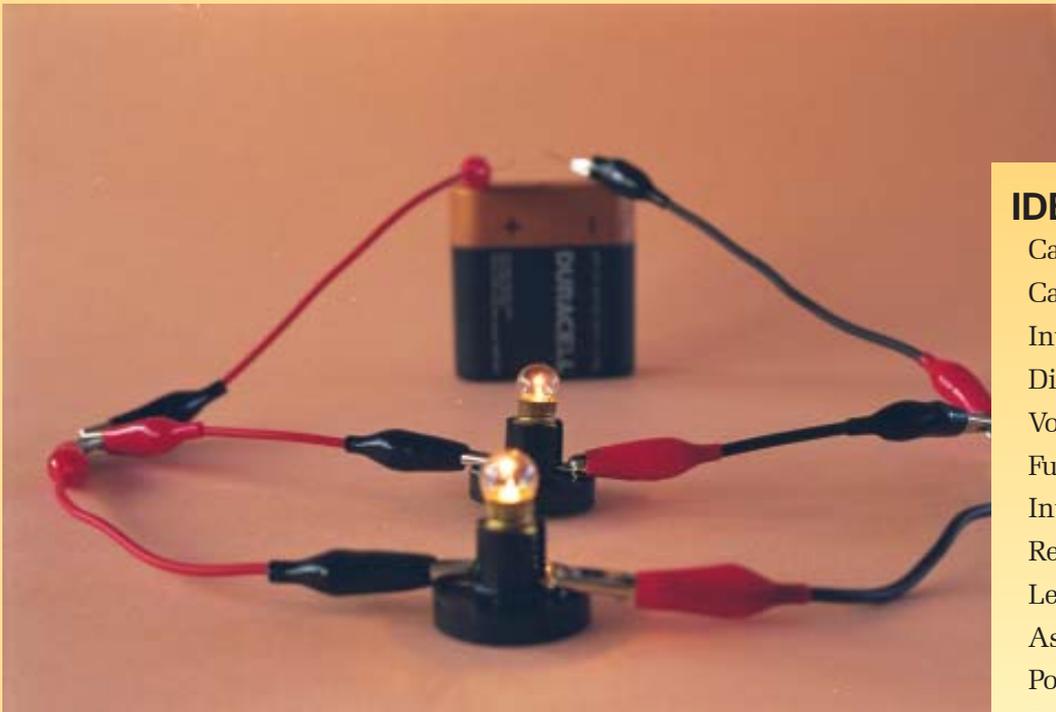
1º: El **primer principio de la termodinámica**, que es una forma de expresión del principio de conservación de la energía, establece que la cantidad total de energía es siempre la misma, es decir, que la suma de las energías de todos los sistemas que intervienen en un proceso es la misma antes y después de que éste ocurra.

2º: El **segundo principio de la termodinámica** que se refiere a la imposibilidad de que pase calor espontáneamente de un cuerpo de menor temperatura a otro que está a una temperatura mayor. Eso está relacionado con la imposibilidad de aprovechar toda la energía interna cuando se utiliza una máquina térmica y con la consiguiente degradación de la energía.

Quizás te parezca que ambos principios son prácticamente inútiles, ya que los ejemplos estudiados han sido muy simples. Sin embargo, la importancia de los dos principios de la termodinámica está en la universalidad del resultado. Cualquier proceso, por extraño que nos parezca, debe cumplir ambos principios de la termodinámica. Eso permite hacer predicciones sobre la posibilidad de que ocurra un determinado fenómeno antes de haber sido observado, y por lo tanto puede informarnos sobre si es conveniente diseñar un experimento.

# 2

# LA CORRIENTE ELÉCTRICA



## IDEAS PRINCIPALES

- Carga eléctrica
- Campo eléctrico
- Intensidad de campo
- Diferencia de potencial
- Voltaje
- Fuerza electromotriz
- Intensidad de corriente
- Resistencia
- Ley de Ohm
- Asociación serie y paralelo
- Potencia eléctrica
- Fuerza contraelectromotriz
- Ecuación del circuito generalizada

En esta unidad estudiamos los circuitos y dispositivos eléctricos. Para ello recordaremos algunos de los conceptos que ya conoces de otros cursos, profundizaremos en ellos y estudiaremos los intercambios energéticos que se producen en circuitos y máquinas eléctricas, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo. Volveremos a aplicar el principio de conservación de la energía para, junto con otras leyes, hacer cálculos referentes a circuitos y dispositivos eléctricos.

Haremos una introducción a una forma de entender las interacciones entre los cuerpos que ha tenido una gran transcendencia en la Física: la Teoría de Campos.

También pondremos de manifiesto las enormes posibilidades que abre el empleo de la electricidad para mejorar nuestras condiciones de vida. Para terminar con una reflexión sobre las relaciones entre la ciencia, la tecnología y los aspectos sociales vinculados con la electricidad.

# 1

## GENERACIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Las primeras experiencias y artilugios para electrizar cuerpos y lograr corrientes temporales se basaron en el frotamiento y contacto entre distintos cuerpos.



### 1.1 Generación de corrientes transitorias

Las referencias iniciales a las propiedades que adquieren algunos cuerpos al ser frotados, de atraer cuerpos ligeros datan de muy antiguo (del siglo VI antes de Cristo). Sin embargo, los primeros estudios sobre los fenómenos eléctricos tratados con un cierto carácter científico están fechados a principios del siglo XVII.

#### La carga eléctrica

Para explicar los fenómenos de electrización el americano Benjamín Franklin creó el concepto de carga eléctrica como una propiedad más de la materia. El desarrollo de este concepto, así como el de la teoría atómica permitió crear un modelo que ayudó a explicar los estados de electrización.

En el primer capítulo estudiamos los aspectos esenciales del modelo atómico, como la constitución del átomo por electrones, protones y neutrones y la posibilidad de que los átomos ganen, pierdan o compartan electrones dando lugar a iones, moléculas o estructuras gigantes.

El modelo atómico supone que la propiedad de la materia, llamada carga eléctrica, existe siempre, si bien los fenómenos de electrización sólo se ponen de manifiesto cuando hay un desequilibrio en el número de cargas de cada tipo. Es decir, los fenómenos de frotación no crean las cargas sino que provocan que el número de electrones en los átomos sea mayor o menor que el de protones, en el primer caso se dice que el cuerpo está cargado negativamente y en el segundo caso positivamente. La cantidad total de carga es siempre constante, pues los electrones que ganan los átomos de un cuerpo, los pierden los átomos de otro cuerpo.



Benjamín Franklin (1706-1790)

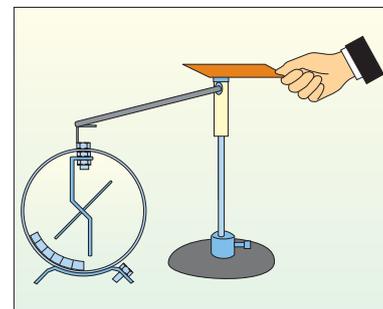
**A.1.-** a) Explica con el modelo adoptado la electrización de la placa de plástico al frotarla con la piel.

b) Un estudiante ha llegado a la conclusión de que las cargas eléctricas no existen, son una invención de los científicos para explicar los fenómenos de electrización. Explica tu acuerdo o desacuerdo con la conclusión del estudiante.

La carga eléctrica es una propiedad de la materia que tiene sentido dentro de un modelo teórico, igual que lo tienen otras magnitudes como la masa, el volumen, la fuerza, etc. La unidad de carga eléctrica en el SI, elegida por convenio entre los científicos, se llama culombio y equivale a la carga eléctrica de  $6,25 \cdot 10^{18}$  electrones o protones.

**A.2.-** Con un electrómetro, una barra metálica y un soporte aislado haz el montaje de la figura. Frota la placa de plástico con la piel y toca el extremo de la barra metálica que está sobre el soporte. Describe lo que ocurre. ¿Cómo interpretarías este hecho teniendo en cuenta el modelo de carga eléctrica?

Si se unen mediante un hilo conductor dos cuerpos electrizados por frotación, las cargas eléctricas se desplazan entre ambos cuerpos, dando lugar a corrientes eléctricas denominadas transitorias porque duran muy poco tiempo.



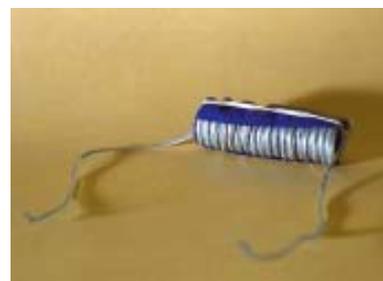
## 1.2 Generación de corrientes permanentes: la pila y la dinamo

La invención de la pila al comienzo del siglo XIX supuso un avance tan importante que, a partir de este hecho, puede hablarse de una ruptura con el pasado, pues hasta entonces sólo se habían podido conseguir corrientes transitorias producidas por descargas de cuerpos previamente cargados por rozamiento. En 1800 el italiano Alessandro Volta publica cómo construir la pila que lleva su nombre, que consiste en una serie de pares de discos de cinc y cobre (dos metales diferentes) separados por un cartón mojado en salmuera o en ácido sulfúrico diluido.

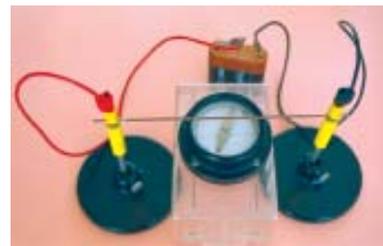
**A.3.-** La pila de Volta no es más que la conexión en serie de muchas pilas unitarias como la que vamos a hacer a continuación. Prepara, en un vaso de precipitados, una disolución de sal (cloruro sódico) en agua e introduce en ella una lámina de cinc y otra de cobre. ¿Cómo comprobarías si se produce una corriente eléctrica? Hazlo.

La electricidad generada de esta forma, a la que se llamó «voltaica», tiene su origen en una reacción química que se lleva a cabo en el vaso de precipitados. Si se tiene funcionando durante un intervalo de tiempo suficiente, se puede observar que la lámina de cinc se va gastando y en la disolución aparece un precipitado blanco de hidróxido de cinc. El funcionamiento de las pilas que se utilizan hoy, llamadas **pilas secas**, se basa también, al igual que la de Volta, en una reacción química de los dos electrodos: la carcasa de cinc que sirve de recipiente y el electrodo central que es una barra de carbón. Ambos están separados por una sustancia en disolución, mezclada con un material absorbente.

Aunque los científicos de la época no sabían interpretar los procesos que ocurrían en la pila, la corriente eléctrica que se producía permitió el avance de la ciencia en campos tan diferentes como la electricidad, el magnetismo o la química. En electricidad, porque al disponer de **corrientes eléctricas permanentes**, que se podían manipular con suficiente tranquilidad, facilitó la realización de experiencias muy diversas. Así recordaremos, a título de ejemplo, la experiencia de Oersted sobre el efecto magnético de la corriente y el posterior estudio que de este fenómeno hicieron tanto Ampère como Faraday entre otros científicos.



Pila Volta



Al pasar la corriente por el cable, la aguja imantada gira hasta que se coloca perpendicular a la dirección del cable. La corriente se comporta como un imán.

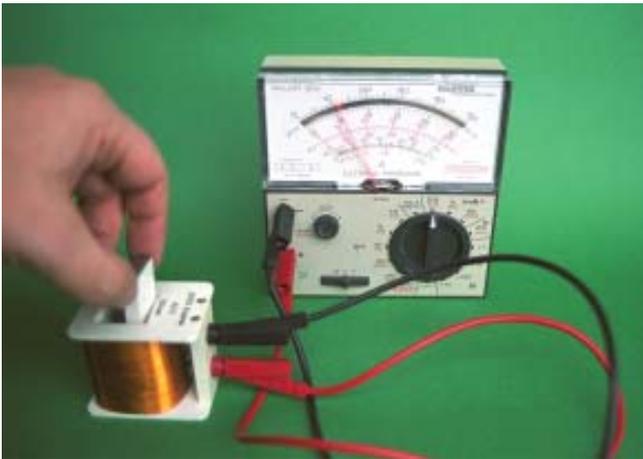
También la utilización de la pila para hacer electrólisis permitió avanzar en el conocimiento de la materia.

## La dinamo

A partir de 1831 Faraday realizó una gran cantidad de experiencias para conseguir la obtención de una corriente a partir de un imán. Simplificando mucho su trabajo diremos que llegó a la conclusión de que un imán no produce corriente eléctrica, pero sí se consigue una corriente eléctrica cuando hay un movimiento relativo entre bobina e imán. La corriente es tanto mayor cuanto mayor es la velocidad con la que la bobina y el imán se acercan o alejan entre sí.

Una forma sencilla de conseguir el movimiento relativo del imán y la bobina es haciéndola girar entre los polos del imán. Los terminales de la bobina tocan a dos anillos mediante contactos deslizantes, a los que se conecta el circuito externo.

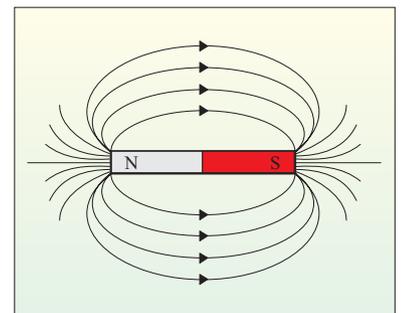
**A.4.-** Observa la producción de corrientes inducidas mediante el movimiento de un imán en el interior de una bobina y mediante el giro de una bobina en las proximidades de un imán.



La interpretación que hace Faraday de las experiencias está basada en su concepción del mundo. Además de defender la idea de la unidad de todas las fuerzas, él rechaza la acción a distancia así como la idea de vacío, por lo que para explicar la acción entre corrientes o entre imán y corriente propone una nueva teoría que se conoce como «**teoría de campos**», que podemos considerar como el punto de partida de la que aún hoy se acepta, siendo fundamentales las modificaciones y aclaraciones hechas por Maxwell en 1865.

Un imán crea a su alrededor un campo magnético. El campo magnético es aquella zona del espacio donde se pone de manifiesto los efectos del imán. Se puede representar como en el dibujo adjunto, mediante líneas llamadas de fuerza o de campo, que son tangentes en cada punto a una recta cuya dirección es en la que se orientaría una pequeñísima aguja magnética situada en los distintos puntos del campo. Las líneas de fuerza son cerradas y se les puede dotar de un sentido (por convenio irían del polo norte del imán al polo sur). Para Faraday las líneas de fuerza tienen existencia física y las interacciones entre el imán y la corriente, o entre las dos corrientes, pueden explicarse por el contacto de sus líneas de fuerza respectivas.

Las líneas de fuerza se dibujan de manera que podamos hacernos una idea del valor del campo magnético. En una zona donde las líneas de fuerza están muy juntas diremos que el campo es más intenso que en otra zona donde estén más separadas.



## 1.3 Modelo teórico para interpretar la corriente eléctrica

Al estudiar el enlace químico vimos que los materiales que son buenos conductores, los metales, los suponemos constituidos por átomos en los que los electrones (cargas negativas) de los niveles energéticos más externos están débilmente atraídos por su núcleo, de tal manera que el conjunto de estos electrones tiene una gran movilidad, así que es fácil forzar su movimiento en una dirección determinada. Ésta es la función del generador de corriente (pila o dinamo). En los materiales aislantes suponemos que los electrones están fuertemente ligados al átomo con lo cual es muy difícil hacer que se muevan en un determinado sentido. En definitiva, interpretaremos una corriente continua en un metal como un movimiento de carga (electrones) en un determinado sentido.

**A.5.-** En el circuito de la figura:

- Señala con una flecha, en los tramos de cable nombrados como A y B, el sentido que tú crees que tiene la corriente.
- Indica en qué cable será mayor la corriente.
- Explica para qué sirve la pila en un circuito. ¿Habrá más electrones en la pila antes o después de estar funcionando durante media hora?

La corriente continua en un circuito como el de la figura se denomina **estacionaria** y consiste en un movimiento de electrones constante a través de un circuito cerrado, que van desde el punto donde los electrones tienen más energía (polo negativo) al punto donde tienen menos energía (polo positivo). Los electrones se mueven siempre en el mismo sentido, el que va desde el polo negativo al positivo.

El sentido de la corriente se representa desde el polo positivo al negativo, aunque sabemos que los electrones se mueven en sentido contrario. Tiene una justificación de tipo histórico pues, cuando aún no se había desarrollado la teoría sobre la constitución de la materia, se pensaba que el movimiento de lo que entonces se conocía como «fluido eléctrico» se daba desde las zonas donde había exceso (polo positivo) hacia donde había defecto de él (polo negativo).

En las instalaciones domésticas e industriales se utiliza corriente alterna; los electrones no se desplazan en un determinado sentido sino que oscilan alternativamente en uno y otro sentido. Debes tener en cuenta que:

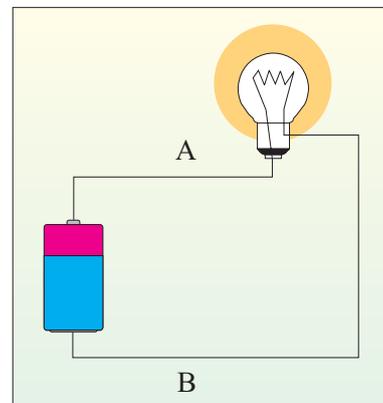
La pila no proporciona electrones al circuito. Hace que se desplacen los electrones.

Los electrones no se gastan, no desaparecen, solamente están desplazándose de unos átomos a otros, continuamente.

La pila, debido a un proceso químico, aumenta la energía de los electrones. La energía de los electrones disminuye en los elementos del circuito.

En ocasiones se utilizan expresiones del tipo: «...los electrones que pasan por la pila...»; lo que puede dar lugar a pensar que los electrones que entran en la pila son los mismos que los que salen; esto no es cierto. Los electrones que salen de la pila son otros diferentes a los que entraron, ahora bien, el **número de electrones** que entra en la pila sí es el mismo que el número de electrones que sale de ella.

A continuación estudiaremos las fuerzas eléctricas entre las distintas cargas, que pueden permitir explicar, entre otras cosas, la corriente eléctrica.



Diferentes tipos de pilas

# 2

## EL CAMPO ELÉCTRICO

Entre dos cuerpos que tienen carga eléctrica neta existen fuerzas de atracción o de repulsión según sean las cargas del mismo tipo o de tipos diferentes.

Pero, ¿cómo es posible que un cuerpo actúe sobre otro con el que no está en contacto? Esta idea de «acción a distancia» no convencía a muchos científicos. En su intento por dar una explicación más «intuitiva» inventaron la idea de campo eléctrico de la misma forma que Faraday hizo con el campo magnético.

Para explicar la interacción eléctrica se supone que un cuerpo cargado **modifica las propiedades del espacio que lo rodea** de manera que en ese espacio existe ahora una nueva propiedad, el campo eléctrico. Si se coloca en ese espacio un segundo cuerpo cargado, experimentará una fuerza eléctrica que decimos que la hace el campo sobre él.

En una zona del espacio existe **un campo eléctrico** cuando sobre cualquier cuerpo con carga eléctrica neta colocado en un punto de esa zona se ejerce una fuerza de tipo eléctrico.

### Descripción del campo eléctrico

Si queremos comparar dos campos eléctricos diferentes necesitamos una magnitud que «cuantifique» el efecto que cada uno producirá sobre un cuerpo cargado. Esa magnitud recibe el nombre de **intensidad de campo eléctrico**, siendo su símbolo ***E***.

La intensidad de campo eléctrico ***E*** en cada punto de un campo eléctrico representa la fuerza que hace el campo sobre un cuerpo cuya carga sea 1 culombio.

Si conocemos la carga *q* de un cuerpo y medimos con un dinamómetro la fuerza eléctrica que se ejerce sobre él, ***F<sub>e</sub>***, el módulo de la intensidad de campo eléctrico se calcula con la expresión:

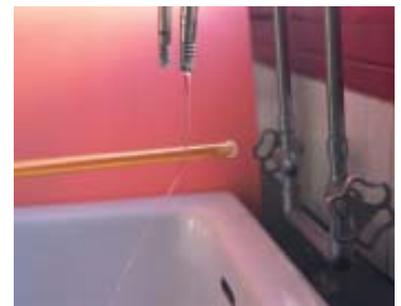
$$E = \frac{F_e}{q}$$

La unidad de la intensidad de campo eléctrico en el SI es el newton por culombio, cuyo símbolo es N/C.

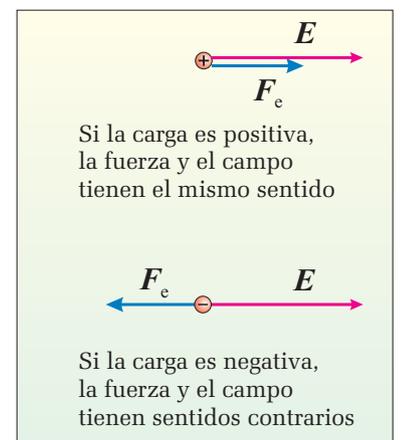
Otra unidad de la intensidad de campo eléctrico equivalente a la anterior es el voltio por metro, su símbolo es V/m. Posteriormente justificaremos su introducción.

***E*** es una magnitud vectorial. Su dirección es la misma que la de la fuerza eléctrica que se ejerce sobre un cuerpo cargado. Por convenio se ha establecido que el sentido del campo eléctrico en un punto es el mismo que el de la fuerza que se ejerce en ese punto sobre un cuerpo con carga eléctrica positiva.

Cuando el valor de ***E*** es el mismo en todos los puntos del campo eléctrico decimos que se trata de un campo eléctrico uniforme. Lo más frecuente es que el campo eléctrico no sea uniforme.



El tubo de plástico electrizado por frotamiento crea un campo eléctrico a su alrededor.



## Representación gráfica de un campo eléctrico

Para «visualizar» fácilmente cómo será la actuación de un campo eléctrico, se representa a éste mediante un conjunto de líneas denominadas «**líneas de fuerza**». Esas líneas se trazan de tal forma que la dirección de la fuerza eléctrica, que se ejerce sobre un cuerpo con carga positiva colocado en un punto, es la misma que la dirección de la tangente a la línea de fuerza que pasa por ese punto.

Para que de la figura se pueda también sacar alguna información respecto a la intensidad del campo eléctrico en cada punto, se ha establecido el convenio de dibujar las líneas más próximas en las zonas en las que el valor de  $E$  es mayor y más alejadas en las zonas en las que el valor de  $E$  es menor.

En un campo eléctrico uniforme se dibujan las líneas rectas y paralelas.

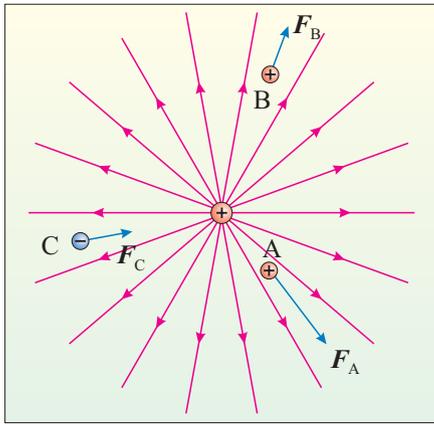


Figura 1

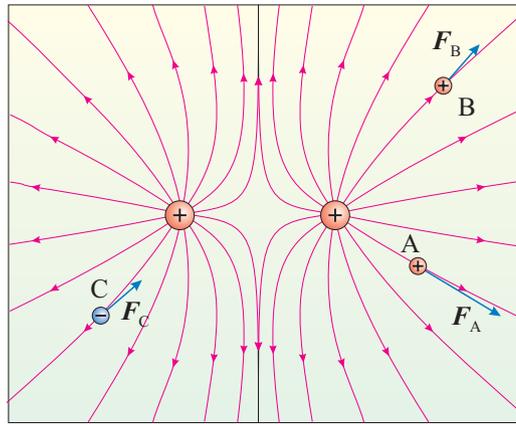


Figura 2

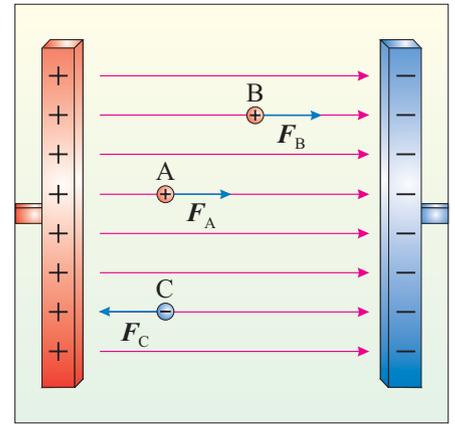


Figura 3

La figura 1 representa un campo eléctrico radial (podría estar creado por un cuerpo de forma esférica con carga neta positiva). La intensidad de campo eléctrico es mayor en el punto A que en el punto B. Si colocamos cuerpos con la misma carga en A y en B, la fuerza que ejerce el campo sobre el que está en A es mayor que la fuerza que ejerce el campo sobre el que está en B. En el punto C hemos colocado un cuerpo con carga neta negativa. Por esa razón, la fuerza que se hace sobre ese cuerpo tiene sentido contrario al de la intensidad de campo en ese punto.

La figura 2 representa el campo eléctrico creado por dos cuerpos de forma esférica con carga neta positiva. Se han dibujado las fuerzas sobre cuerpos con cargas colocados en diferentes puntos del campo.

La figura 3 representa líneas de fuerza en un campo eléctrico uniforme como el que se crea entre dos placas metálicas con la misma carga, pero de distinto signo. En cualquier punto de este campo el valor de la fuerza eléctrica sobre cuerpos con la misma carga será el mismo. El sentido de la fuerza que ejerce el campo sobre una carga positiva será el contrario que el sentido de la fuerza que ejerce sobre una carga negativa, (compara el sentido de las fuerzas sobre los cuerpos A y C).



### 4.8

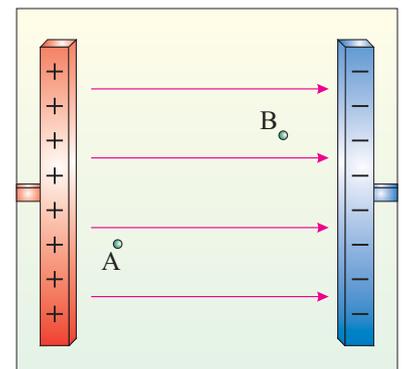
Representa las líneas de fuerza, las superficies equipotenciales, etc., de campos electrostáticos. Dispone de unas configuraciones predeterminadas, pero se pueden cambiar permitiendo una gran interactividad.

**A.6.-** El dibujo adjunto representa algunas líneas de fuerza de un campo eléctrico uniforme cuya intensidad de campo es  $25000 \text{ N/C}$ .

a) Calcula el valor de la fuerza que ejerce el campo sobre un cuerpo puntual cuya carga neta es  $+2 \mu\text{C}$  situado en el punto A. Dibuja el vector representativo de la fuerza, dejando claro su dirección y sentido.

b) Haz lo mismo para el caso de un cuerpo puntual de carga neta  $-3 \mu\text{C}$  situado en el punto B.

c) Calcula las fuerzas eléctricas sobre un electrón situado en el punto A y sobre un protón situado en el punto B. Dibuja la dirección y sentido de cada una.



El campo eléctrico no es sólo una forma diferente de calcular la fuerza eléctrica entre dos cuerpos cargados. Supone un cambio radical en la concepción de estos fenómenos. Por ejemplo, la interpretación newtoniana de las fuerzas gravitatorias y la posterior interpretación culombiana de las fuerzas eléctricas suponían que esas interacciones se propagaban instantáneamente, es decir, que si un cuerpo cargado cambia de posición, el otro cuerpo «nota» el cambio instantáneamente. La teoría de campos supone que la variación de posición en un cuerpo tarda cierto tiempo en «ser notada» por el otro cuerpo, es decir que la perturbación se propaga con una velocidad finita, aunque muy grande, de 300000 km/s.

Además, las teorías físicas actuales consideran que los campos tienen masa y energía, es decir consideran que los campos tienen una existencia tan real como lo que conocemos como materia.

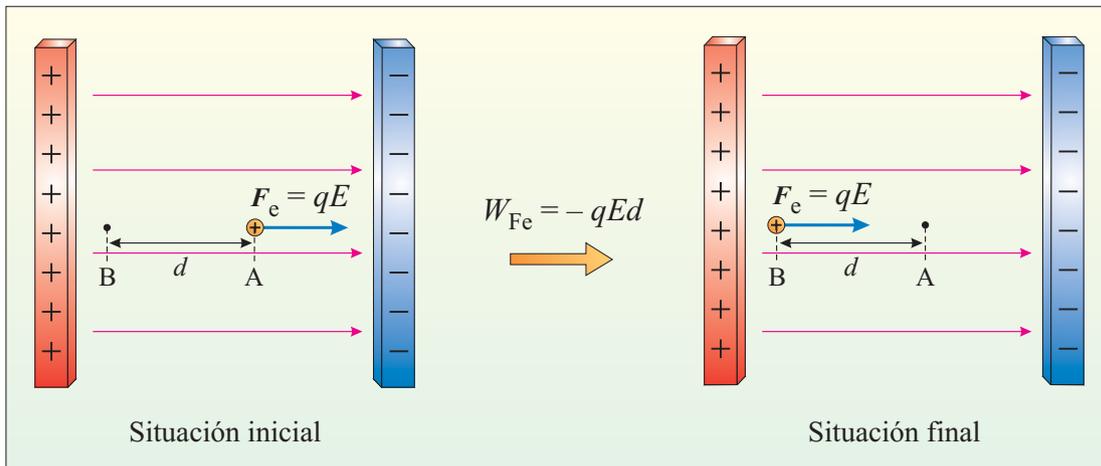


Las ondas de televisión y telefonía móvil son campos eléctricos y magnéticos que se propagan en el espacio.

## 2.1 Tratamiento energético del campo eléctrico

La fuerza eléctrica, al igual que la gravitatoria, es conservativa: el trabajo realizado por esas fuerzas no depende de la trayectoria, sólo de la posición inicial y final. Por eso, asociada a la fuerza eléctrica existe también una energía potencial eléctrica igual que ocurría con la fuerza gravitatoria y la energía potencial gravitatoria.

El proceso que vamos a estudiar supone el desplazamiento en el interior de un campo eléctrico, que suponemos uniforme, de un cuerpo cuya carga es  $q$ , desde un punto A a otro B.



El dibujo representa la situación inicial y la final. A lo largo de todo el desplazamiento el campo ejerce sobre el cuerpo una fuerza  $F_e = qE$  cuya dirección es la misma que la del desplazamiento y sentido opuesto al mismo. El trabajo realizado por la fuerza eléctrica será igual a menos la variación de energía potencial eléctrica. Así pues:

$$(W_A^B)_{F_e} = F_e d \cos 180 = q E d (-1) = - q E d$$

$$(W_A^B)_{F_e} = - (\Delta E_p)_A^B = - q E d$$

$$E_{pB} - E_{pA} = q E d$$

Si el cuerpo se moviera en sentido contrario, en el mismo que tiene el campo eléctrico, por ejemplo desde B hasta A, la variación de energía potencial eléctrica sería la misma, pero negativa.

Quando la dirección del campo no es la misma que la dirección del desplazamiento, hay que tener en cuenta el ángulo  $\alpha$  que forman. La expresión que se obtiene es:

$$E_{pB} - E_{pA} = q E d \cos \alpha$$

En este curso nos limitaremos a ejemplos en los que el desplazamiento y la intensidad de campo tienen la misma dirección.

P

Por lo tanto diremos:

El trabajo realizado por la fuerza que ejerce el campo eléctrico sobre un cuerpo cargado cuando se desplaza entre dos puntos es igual a menos la variación de energía potencial eléctrica entre esos puntos.



## 4.9

Representa un campo eléctrico cuyo valor podemos establecer y lo que ocurre cuando se introducen en él cuerpos cuyas masas y cargas podemos cambiar.

P

**A.7.-** Supongamos un campo eléctrico uniforme cuya intensidad de campo es de 500000 N/C en cuyo interior se desplaza un cuerpo de carga  $3 \cdot 10^{-6}$  C desde un punto A a otro B que dista 30 cm en la misma dirección del campo pero en sentido contrario al mismo.

a) Calcula el trabajo realizado por la fuerza que hace el campo sobre el cuerpo. ¿Aumenta o disminuye la energía potencial eléctrica del sistema campo-cuerpo en ese proceso?, ¿en qué cantidad?

b) Repite el apartado anterior suponiendo que la carga del cuerpo que se traslada de A a B es negativa.

c) ¿Podemos conocer con seguridad la energía potencial eléctrica del sistema cuando el cuerpo cargado se encuentra en un punto determinado?, ¿qué es lo que podemos conocer?

### Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos

La diferencia de energía potencial del sistema cuando el cuerpo cargado pasa de un punto a otro depende de la carga del cuerpo que se traslade (también depende de la intensidad del campo eléctrico  $E$  y de la distancia,  $d$ , entre los dos puntos).

Es conveniente tener una magnitud que sea independiente del cuerpo y sólo dependa del campo. Para ello, podemos dividir la diferencia de energía potencial del sistema campo-cuerpo por la carga del cuerpo. A esa magnitud la llamamos **diferencia de potencial eléctrico** entre los puntos A y B, y se acostumbra a representar como  $V_B - V_A$ .

$$V_B - V_A = \frac{E_{PB} - E_{PA}}{q} = E d$$

La diferencia de potencial no depende de la carga, ya que se trata de la diferencia de energía que entre esos dos puntos tiene la unidad de carga positiva. Fíjate que lo único que podemos conocer con seguridad es la diferencia de potencial entre dos puntos y no el potencial en cada punto.

La **diferencia de potencial eléctrico** entre dos puntos A y B es la diferencia entre la energía potencial eléctrica que tendría el sistema formado por el campo eléctrico y un cuerpo cuya carga fuese un culombio colocado en B y la que tendría cuando el cuerpo estuviese en A.

A la unidad julio por culombio que se utiliza para expresar la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos se le llama **voltio**. Su símbolo es V.

P

**A.8.-** El campo eléctrico representado en la figura es uniforme siendo su intensidad  $E = 40000$  N/C.

a) Calcula la diferencia de energía potencial eléctrica cuando un cuerpo cuya carga es  $3 \cdot 10^{-6}$  C pasa del punto A al B que distan 50 cm. Calcula la diferencia de potencial eléctrico entre los puntos A y B.



**Carrete de Ruhmkorff:** entre las puntas se establece una diferencia de potencial de 30000 V que produce un arco voltaico.

#### NOTACIÓN UTILIZADA

Diferencia de potencial entre el punto A y el punto B:

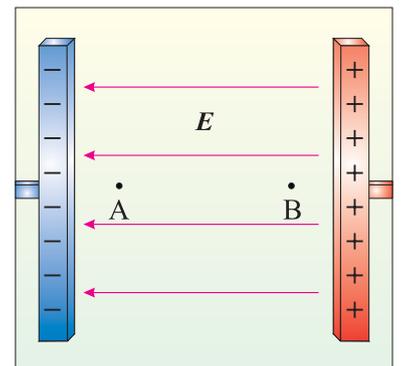
$$V_B - V_A \text{ o } V_{AB}$$

Diferencia de potencial entre dos puntos sin especificar como llamamos a cada punto:

$$\Delta V$$

Símbolo del voltio, unidad de la diferencia de potencial:

$$V$$



b) Calcula la diferencia de energía potencial eléctrica cuando un cuerpo cuya carga es  $-7 \cdot 10^{-6}$  C pasa del punto A al B que distan 50 cm. Calcula la diferencia de potencial eléctrico entre los puntos A y B.

La relación entre el valor de la intensidad de un campo eléctrico uniforme y la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos que se encuentran a una distancia  $d$  (medida en la misma dirección y sentido de la intensidad de campo) es:

$$E = \frac{V_B - V_A}{d}$$

La relación anterior justifica que se pueda utilizar como unidad de la intensidad de campo eléctrico el voltio por metro, V/m.

El sentido de la intensidad de campo eléctrico es el que va desde los potenciales mayores a los menores.

### ATENCIÓN

Si el campo eléctrico no es uniforme o la dirección del desplazamiento no está en la dirección del campo la ecuación no es válida, pero siempre se puede obtener una relación entre la intensidad de campo y la diferencia de potencial.

## EJEMPLO

En una región del espacio tenemos un campo eléctrico uniforme vertical. Supongamos despreciables los efectos gravitatorios. La diferencia de potencial entre los puntos B y A separados 20 cm es:  $V_A - V_B = 6000$  V.

a) Calcula la intensidad del campo eléctrico. Dibuja varias líneas de fuerza suponiendo que se trata de un campo eléctrico uniforme vertical.

b) Supongamos que en el punto O, colocado a 10 cm de A y de B, se encuentra un cuerpo cuya carga eléctrica es 0,0008 C, inicialmente en reposo. Si dejamos que ese cuerpo se mueva libremente, ¿se moverá hacia A o hacia B? Después de haberse desplazado 10 cm, ¿la energía potencial eléctrica del sistema campo-cuerpo cargado habrá aumentado o habrá disminuido?, ¿qué otra energía habrá podido cambiar? ¿habrá aumentado o disminuido?

c) Repite el apartado anterior suponiendo que en el punto O se coloca un cuerpo cuya carga eléctrica es  $-0,0008$  C.

a) El módulo de la intensidad de campo eléctrico la podemos calcular conocida la diferencia de potencial entre dos puntos y la distancia entre esos puntos:

$$E = \frac{V_A - V_B}{d} = \frac{6000}{0,2} = 30\,000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Las líneas de fuerza están representadas en el dibujo. El sentido se determina teniendo en cuenta que el vector intensidad de campo está dirigido desde los potenciales mayores a los potenciales menores. Puesto que se trata de un campo eléctrico uniforme las líneas de fuerza las hemos dibujado paralelas y a igual distancia unas de otras.

b) Un cuerpo con carga positiva colocado en reposo en el punto O se mueve hacia B. Debemos tener en cuenta que al tener carga positiva, la fuerza que hace el campo sobre el cuerpo tiene la misma dirección y sentido que la intensidad de campo.

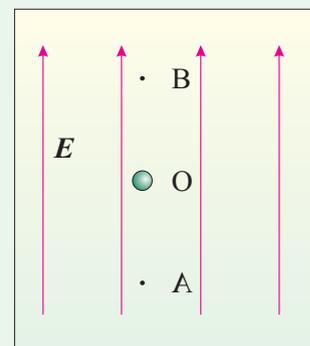
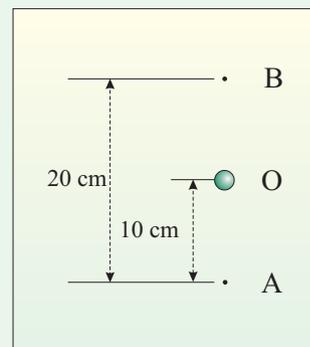
Para calcular la variación de energía potencial cuando el cuerpo se desplaza de O hasta B tendremos en cuenta que el trabajo realizado por la fuerza que hace el campo será igual a menos la variación de energía potencial eléctrica.

$$(W_O^B)_{F_e} = -(\Delta E_p)_O^B$$

$$(W_O^B)_{F_e} = F_e d \cos 0 = q E d = 0,0008 \cdot 30000 \cdot 0,1 = 2,4 \text{ J}$$

$$-(\Delta E_p)_O^B = 2,4 \text{ J} \quad \rightarrow \quad (\Delta E_p)_O^B = -2,4 \text{ J}$$

El cálculo muestra que la energía potencial del sistema campo-cuerpo cargado disminuye en ese proceso.



Si suponemos que el sistema está aislado sólo puede variar la energía cinética, además de la potencial eléctrica. En este caso, como la energía potencial eléctrica ha disminuido habrá aumentado la energía cinética. Es un resultado razonable, pues si al cuerpo se le empuja durante 10 cm en la misma dirección y sentido en la que se mueve, aumentará su velocidad y por lo tanto su energía cinética.

c) Si el cuerpo que se coloca en O tiene carga negativa, la fuerza que ejerce el campo sobre él tiene sentido contrario al de la intensidad de campo. En este caso, el cuerpo se movería de O hacia A. Si calculamos el trabajo realizado por la fuerza eléctrica sobre el cuerpo vuelve a salir 2,4 J. Ten en cuenta que los valores numéricos son iguales, sólo cambia el sentido de la fuerza eléctrica y el sentido del desplazamiento, por lo que de nuevo el ángulo que forman la dirección de la fuerza y el desplazamiento es de  $0^\circ$ .

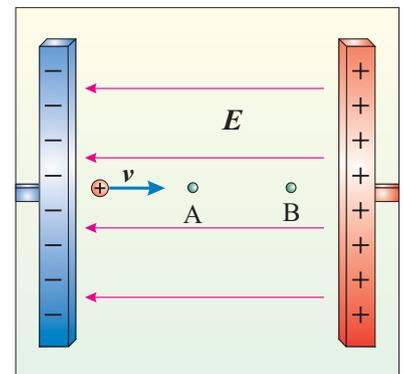
Como conclusión podemos decir:

\* Un cuerpo con **carga eléctrica positiva** se mueve, espontáneamente, desde los puntos de mayor potencial eléctrico a los de menor potencial eléctrico. Es decir, desde donde tiene más energía potencial eléctrica a donde tiene menos energía potencial eléctrica.

\* Un cuerpo con **carga eléctrica negativa** se mueve, espontáneamente, desde los puntos de menor potencial eléctrico a los de mayor potencial eléctrico. Es decir, desde donde tiene más energía potencial eléctrica a donde tiene menos energía potencial eléctrica.

**A.9.-** Una partícula cargada positivamente entra con velocidad  $v$  en una región en la que hay un campo eléctrico como el de la figura. Ten en cuenta sólo los efectos eléctricos, despreciando la posible resistencia del aire y los efectos gravitatorios.

- ¿Cambia la energía cinética de la partícula cuando se mueve de A a B? Explica la respuesta.
- Si cambia la energía cinética de la partícula, ¿no se cumple el principio de conservación de la energía? Explica la respuesta.
- Si la partícula estuviese cargada negativamente, ¿qué le pasaría a la energía cinética al pasar de A a B?



### 3

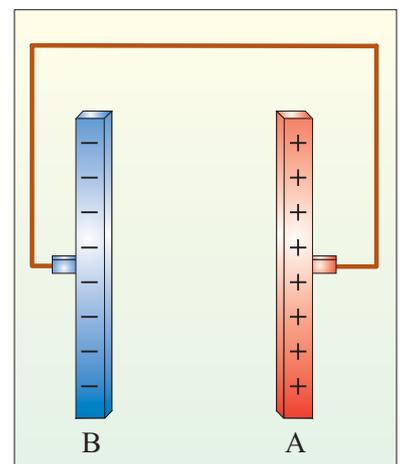
## DESCRIPCIÓN DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

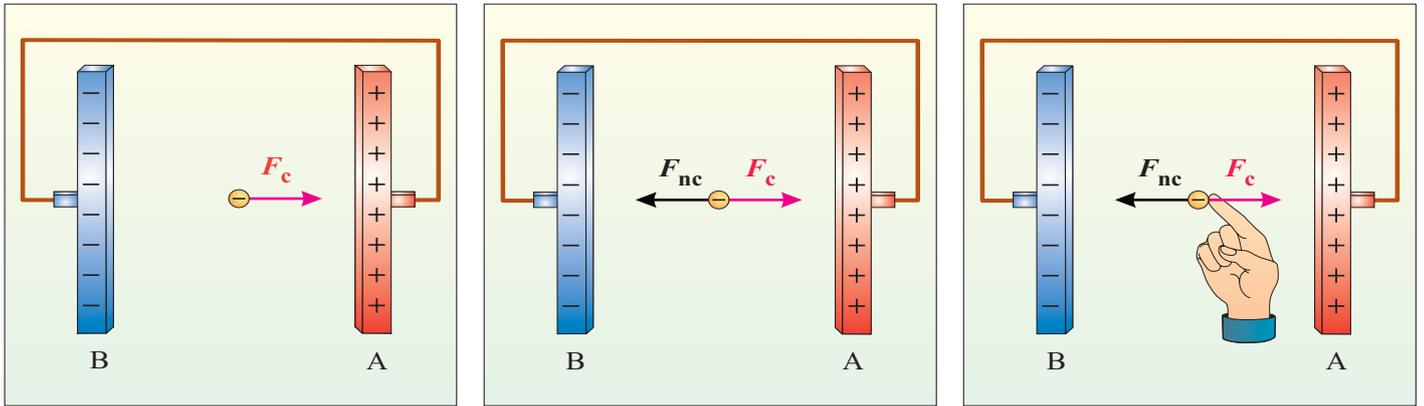
**A.10.-** Supongamos que tenemos una distribución de cargas como la que se representa en la figura.

- ¿Qué ocurriría si unimos ambos cuerpos con un cable metálico conductor?
- ¿Cómo podríamos conseguir que el flujo de cargas negativas de la placa azul a la placa roja se mantuviese de manera continua?

Si queremos mantener la corriente de cargas eléctricas deberíamos «coger» las cargas negativas de la placa roja y llevarlas a la placa azul. Por cada carga negativa que pasara por el cable exterior deberíamos «transportar» una carga negativa desde la placa roja a la placa azul. De esa manera conseguiríamos mantener la diferencia de potencial entre ambas placas.

Supongamos que una carga negativa «está pasando» de la placa roja a la placa





azul. En ese trayecto la carga negativa estaría sometida a una fuerza de origen electrostático, que llamaremos fuerza coulombiana. Esa fuerza coulombiana sería igual al producto de la carga por la intensidad de campo:

$$F_C = q E$$

Si queremos que la carga se mueva hacia la placa azul será necesaria una fuerza que compense la fuerza coulombiana. Pero esa fuerza debe tener un origen diferente, no puede ser de origen electrostático. La llamaremos fuerza no coulombiana,  $F_{NC}$ , y en la figura hemos supuesto que se trata de la fuerza que hace la mano sobre la carga negativa.

En ese proceso la energía potencial eléctrica del sistema aumenta, ya que el trabajo realizado por el campo sobre la carga es negativo ( $F_C$  y el desplazamiento tienen sentidos contrarios). La variación de energía potencial será:

$$\Delta E_p = q (V_B - V_A) = -W_A^B > 0$$

Esa energía es aportada por el cuerpo que haga la fuerza no coulombiana sobre la carga. Si seguimos con el ejemplo del dibujo, sería la persona cuya mano empuja la carga de una placa a la otra. Esa energía podríamos medirla por el trabajo realizado por la fuerza no coulombiana.

$$\Delta E_{\text{exterior}} = W_{F_{NC}} = F_{NC} d$$

La energía aportada depende de la cantidad total de carga que queramos pasar de la placa roja a la placa azul (de la placa cargada positivamente a la cargada negativamente). Llamaremos **generador** a cualquier sistema que aporte energía para que aumente la energía potencial eléctrica de las cargas.

Fuerza electromotriz<sup>1</sup>  $\varepsilon$  de un generador es la cantidad de energía que, en el proceso de separación de cargas, puede ceder el generador a cada unidad de carga. La fuerza electromotriz es un valor característico de cada generador.

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{q}$$

Por lo tanto, la energía exterior aportada a las cargas será:

$$\Delta E = q \varepsilon$$



Una pila es un generador eléctrico. La energía necesaria para aumentar la energía potencial de las cargas procede de las reacciones químicas que ocurren en la pila



#### 4.10

En el apartado de simulaciones eléctricas seleccionar «John Travoltaje». Puedes cargar el muñeco haciendo que roce el zapato con la alfombra. Puede conseguirse una corriente continua si le movemos la pierna rápidamente. ¿Qué sería en esa simulación la fuerza electromotriz?

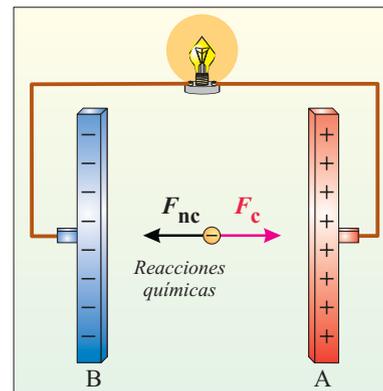
<sup>1</sup> «Fuerza electromotriz» es la denominación que históricamente se dió a una magnitud que no está relacionada con la magnitud física que parece indicar su nombre, sino con la **energía**. El término se propuso cuando aún no se había establecido una distinción clara entre las magnitudes fuerza y energía.

Analicemos lo que ocurre en un circuito formado por una pila y una bombilla. Los polos de la pila están a diferente potencial eléctrico, lo que supone que entre ellos hay un campo eléctrico, dirigido desde el polo positivo (que está a mayor potencial) al polo negativo (que está a menor potencial). Los electrones deslocalizados que participan en el enlace metálico, se moverán de manera espontánea en sentido contrario al campo, por lo que irán del polo negativo al positivo. La energía potencial eléctrica que pierden en ese proceso es la que, transformada en energía interna de la bombilla, permite que ésta brille.

Para que el flujo de electrones sea continuo, es necesario «transportar» los electrones desde el polo positivo al negativo (en sentido contrario a su movimiento espontáneo). Eso debe hacerse con la contribución de una fuerza de origen no coulombiano en la que se ponga en juego una energía no electrostática. El origen de esa fuerza y energía están en las reacciones químicas de la pila.

a) En el generador aumenta la energía de los electrones y disminuye la energía interna de la pila.

b) En la bombilla ocurre lo contrario: disminuye la energía de los electrones y aumenta la energía interna de la bombilla, que se puede ceder al exterior como luz.



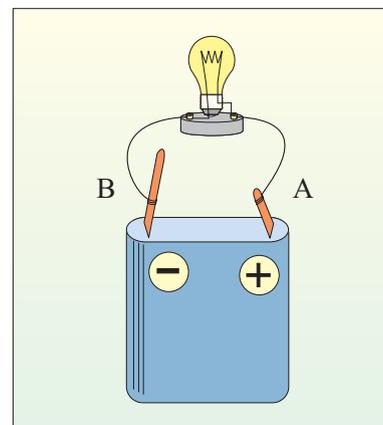
### 3.1 Fuerza electromotriz y diferencia de potencial

En el análisis de circuitos eléctricos de corriente estacionaria se debe distinguir entre los conceptos fuerza electromotriz (*fem*) y diferencia de potencial (*ddp*).

Fuerza electromotriz, se refiere a la energía de origen no eléctrico que en un generador se emplea en aumentar la energía potencial eléctrica de 1 C.

Diferencia de potencial entre dos puntos, magnitud característica de un campo eléctrico conservativo, se refiere a la diferencia de energía potencial eléctrica cuando una carga de 1 C está en uno u otro punto. Es el caso, por ejemplo, de una carga que se desplaza desde el electrodo B al A a través del conductor en un circuito formado como el del dibujo.

El **voltímetro** se utiliza para medir la diferencia de potencial entre dos puntos. La conexión debe ser tal que el circuito no se modifique al conectar o desconectar el voltímetro. Este tipo de conexión se llama en paralelo o derivación, pues el aparato quedará «paralelo» al trozo de circuito entre cuyos extremos queremos medir la diferencia de potencial.

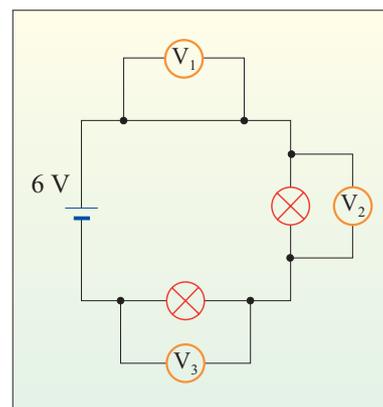


La fuerza electromotriz o la diferencia de potencial entre dos puntos tienen la misma unidad, el voltio, ya que representan diferencia de energía por cada unidad de carga

- A.11.-** a) ¿Cuánta energía habrá cedido la pila del circuito de la figura cuando hayan circulado 60 culombios?  
 b) ¿Cuánta energía se habrá transferido en cada bombilla suponiendo que son iguales?  
 c) ¿Cuánto marcaría cada uno de los voltímetros? Explica la respuesta.

La *ddp* entre dos puntos de un cable de conexión es muy pequeña, pues los electrones apenas ceden energía al circular por él; es prácticamente despreciable frente a la *ddp* entre los extremos de los distintos elementos conectados en el circuito, que es donde los electrones ceden la mayor parte de su energía.

Un voltímetro conectado entre los terminales de un generador debería indicar el valor de su fuerza electromotriz, pero en la práctica indica un valor menor, pues una parte de la energía que el generador transfiere a los electrones la pierden en el propio generador (éste aumenta su temperatura). En principio despreciaremos la pérdida de energía de los electrones en el interior del generador, así como la que pierden en los cables de conexión; supondremos **cables y generadores ideales**.



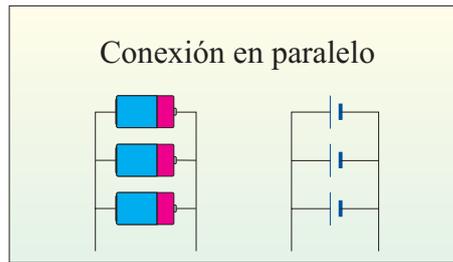
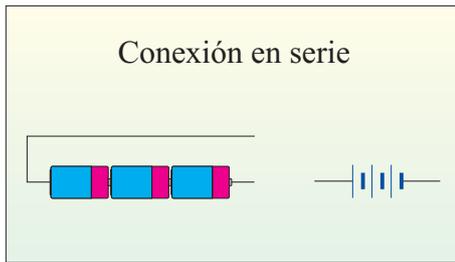
## Asociación de varias pilas

Las pilas y en general los generadores de corriente continua, se pueden conectar en un circuito de dos maneras: en serie y en paralelo.



4.11

Simulación del funcionamiento a nivel atómico de un circuito, representando el movimiento de electrones en los cables y en el interior de la pila. Podemos modificar algunos valores como la resistencia del conductor o la fuerza electromotriz de la pila (la simulación le llama voltaje).



La fuerza electromotriz de la asociación en serie es igual a la suma de las fuerzas electromotrices de cada uno de los generadores, pues los electrones reciben energía en cada uno de ellos.

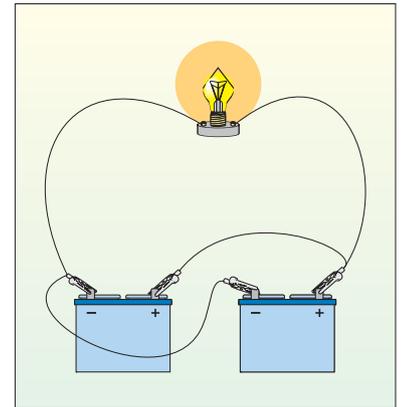
La fuerza electromotriz de la asociación en paralelo es igual a la de uno de los generadores, pues los electrones llegan a uno u otro generador, pero no a todos, por lo que reciben energía sólo de uno.

En los aparatos que funcionan a pilas la conexión está hecha en serie, aunque en algunos de ellos pueda parecer que la conexión es en paralelo. La conexión en paralelo de varias pilas sólo se utilizará cuando se quiera que el circuito esté funcionando durante un tiempo prolongado sin tener que sustituirlas.

**A.12.-** a) Calcula la *fem* de una batería constituida por ocho elementos conectados en serie. La *fem* de cada elemento es 1,5 V.

b) ¿Cuál es la *fem* del conjunto de dos baterías de 12 V cuando están conectadas como se indica en la figura?

c) Abre una pila de petaca y fíjate cómo está construida. ¿Cuál es la *fem* de cada uno de sus elementos?



## 3.2 Intensidad de corriente

La intensidad de una corriente informa de la cantidad de carga que atraviesa una sección del conductor en cada unidad de tiempo. Se calcula con la expresión:

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

**A.13.-** a) ¿Qué significan  $q$  y  $\Delta t$  en la expresión anterior? ¿Cuál es el significado del cociente? La ecuación anterior, ¿representa una ley o una definición? ¿Cuál es la unidad de intensidad de corriente en el SI?

b) ¿Qué cantidad de carga circulará por una sección transversal del filamento de una bombilla en media hora si la intensidad de corriente es 0,3 A?

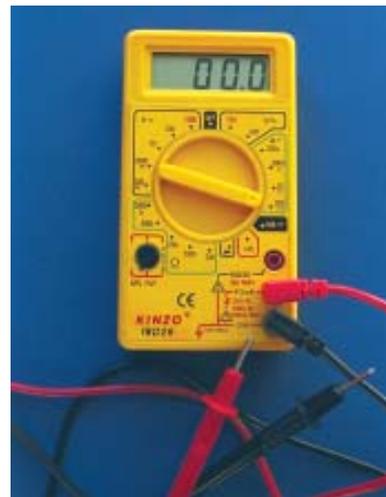
c) Calcula la intensidad de corriente que circula por un circuito si en media hora han pasado 18 C a través de una sección de éste.

d) ¿Durante cuánto tiempo debe circular una corriente de 2 A por un conductor para que por una sección transversal del mismo hayan pasado 30 C?

e) ¿Cuántos electrones circularán en un segundo por una sección transversal del circuito si la intensidad de corriente es 2 A?

Para medir la intensidad de corriente se utiliza el **amperímetro**. Hay que conectarlo en serie con los otros elementos del circuito.

Generalmente el mismo aparato se puede utilizar como amperímetro y voltímetro con sólo cambiar la posición de un mando selector; a estos aparatos se les llama polímetros. Normalmente tienen varias escalas y debemos usar siempre aquella cuyo valor máximo sea superior al valor que queremos medir. Cuando no tengamos una idea del valor aproximado de la intensidad o *ddp* deberemos comenzar utilizando la escala más alta e ir bajando hasta encontrar la escala adecuada.



Polímetro digital

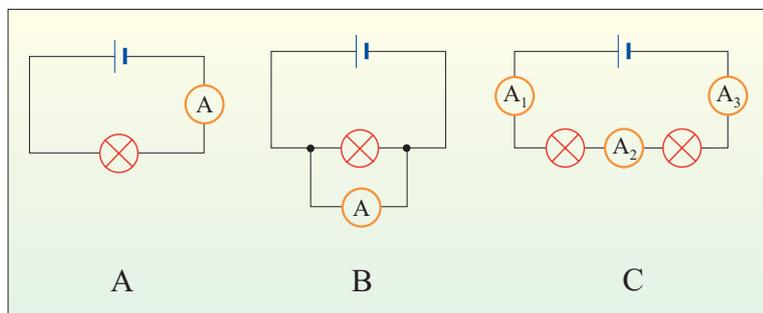
**A.14.-** En los circuitos de la figura las pilas y las bombillas son iguales.

a) ¿Están bien colocados los amperímetros en los circuitos representados? Explica tu respuesta.

b) ¿Hay consumo de carga en las bombillas?, ¿de intensidad?, ¿de energía?

c) En el circuito C, ¿habrá algún amperímetro que marque más que los otros? En caso afirmativo di cuál.

d) ¿La *ddp* a la que está conectada cada bombilla del circuito C es igual a la que está conectado la bombilla del circuito A? Explica la respuesta.



La intensidad de corriente es la misma en todos los puntos de un circuito en serie. Eso quiere decir que los electrones no se gastan en los elementos del circuito y que, una vez que están circulando, no disminuyen su energía cinética media (van igual de rápido) al pasar por los elementos del circuito. La energía que transfieren los electrones en el circuito es energía potencial eléctrica.



#### 4.12

Permite simular la ley de Ohm. Se puede actuar sobre la diferencia de potencial a la que se conecta el conductor o actuar sobre la resistencia del conductor. La simulación indica el valor de la intensidad para cada caso.

### 3.3 Ley de Ohm. Resistencia

La relación que existe entre la intensidad de corriente que circula por un elemento conductor (bombilla, termo, etc.) en un circuito y la *ddp* a la que está conectado se denomina **ley de Ohm**. Se trata de una **ley experimental**, a la que se llega a partir de un conjunto de datos obtenidos mediante cuidadosas experiencias.

**A.15.-** La tabla adjunta recoge los valores de diferencia de potencial y de intensidad de corriente que circula por un conductor, al que mantenemos a una temperatura constante.

a) Si los datos están expresados correctamente, ¿cuál era la sensibilidad del voltímetro?, ¿y la del amperímetro? Dibuja un circuito que hubiese permitido realizar la experiencia.

b) Representa los datos anteriores en unos ejes coordenados. En abscisas se representa la variable independiente, la *ddp*, y en ordenadas la variable dependiente, en este caso la intensidad. ¿Por qué decimos que la variable independiente es la *ddp* y la dependiente es la intensidad?

c) ¿Qué línea se ajusta a los datos experimentales? ¿Qué ecuación es adecuada para representar esa relación?

$V_{AB}$ (voltios)	$I$ (amperios)
0,00	0,000
1,32	0,016
2,56	0,031
3,64	0,044
4,80	0,058
6,00	0,072
7,12	0,085

La intensidad de la corriente que circula por un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial entre sus extremos:  $I = K V_{AB}$

La constante  $K$  se llama **conductancia**. Cuando la conductancia de un elemento es elevada quiere decir que es buen conductor, por él circulará una intensidad grande aunque la diferencia de potencial entre sus extremos sea pequeña.

En la mayoría de las ocasiones, la ecuación anterior se escribe de otra forma, utilizando una constante  $R = 1/K$ . A la constante  $R$  se le llama **resistencia** de un elemento. Para un conductor el valor de la resistencia es constante a una determinada temperatura. Los datos se ajustan entonces a la ecuación:

$$I = \frac{1}{R} V_{AB} = \frac{V_{AB}}{R}$$

La unidad de resistencia es el **ohmio**, cuyo símbolo es la letra griega  $\Omega$ . Cuando dibujemos esquemas de circuitos representaremos la resistencia de los distintos elementos mediante el símbolo .

**A.16.-** a) Calcula la conductancia y la resistencia del conductor de la actividad anterior.

b) ¿Qué significa que la resistencia de un conductor sea grande? ¿Y que sea pequeña?

c) ¿Es posible que no se cumpla  $I = q/\Delta t$ ? ¿Es posible que no se cumpla la ley de Ohm? ¿Qué diferencia encuentras entre las dos ecuaciones?

Según la ley de Ohm, al aumentar o disminuir la  $ddp$  entre los extremos de un elemento del circuito aumenta o disminuye respectivamente la intensidad de la corriente en la misma proporción. La magnitud que podemos variar (manipular) directamente es la  $ddp$  (variable independiente) y dependiendo de él variará la intensidad de corriente (variable dependiente).

**A.17.-** Conectamos una plancha eléctrica a un voltaje\* de 220 voltios y comprobamos que la intensidad de la corriente en ella es de 4 A.

a) ¿Cuál es la resistencia de la plancha?

b) Si se conecta la plancha a un voltaje de 125 V, ¿cuál es su resistencia?, ¿cuál será ahora la intensidad?

c) Si conectamos una bombilla a 220 V, ¿la intensidad de corriente será también de 4 A?

La resistencia de un determinado elemento es un valor constante. En ocasiones podemos calcular el valor de esa resistencia si conocemos las características físicas del elemento. La resistencia de un cable conductor depende de su longitud ( $L$ ), sección o grosor ( $S$ ) y el tipo de material. Podemos escribir:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

A la constante  $\rho$  que aparece en la ecuación se le llama **resistividad** o resistencia específica de un material. Su valor depende del material utilizado, siendo menor para aquellos materiales que son mejores conductores. La unidad de resistividad en el SI es el  $\Omega \cdot m$ . Representa la resistencia de un conductor de un determinado material de 1 m de longitud y 1  $m^2$  de sección transversal.

### ATENCIÓN

La ley de Ohm se cumple siempre que el conductor por el que circula la corriente no varíe su temperatura, pues en la práctica cuanto mayor es la temperatura mayor es la resistencia del conductor. En principio, no tendremos en cuenta la influencia de la temperatura en la resistencia.



Fuente de alimentación de  $ddp$  variable.

### ATENCIÓN

\* En los circuitos de corriente alterna el voltaje mide la diferencia de energía de la unidad de carga entre dos puntos. Se mide en voltios.

Los conceptos de diferencia de potencial y voltaje no son sinónimos, si bien suele hablarse de voltaje siempre que se miden voltios o de amperaje cuando se mide intensidad.



## 4.13

Representa cómo influye la resistencia específica, la longitud y la sección de un conductor en la resistencia del mismo.

Los cables de las instalaciones domésticas son de cobre, pues este material tiene una resistividad baja, y la relación con el precio es buena. Como puedes comprobar la plata es mejor conductor, pero es bastante más cara.

**A.18.-** a) Los cables de conexión de una plancha a la red son de cobre, tienen una longitud de 2,5 m y una sección transversal de 3 mm<sup>2</sup>. Calcula la resistencia de los cables. Compara este valor con el de la resistencia de la plancha de la actividad anterior.

b) Calcula el voltaje entre los extremos del cable de conexión de la plancha cuando la intensidad es de 4 A. Compara ese valor con el voltaje al que está conectada la plancha.

Al analizar los circuitos, mientras no se diga lo contrario, supondremos despreciable la resistencia de los cables de conexión frente a la de los aparatos conectados. Eso supone que la *ddp* entre dos puntos de un cable es despreciable.

**A.19.-** La ley de Ohm relaciona la *ddp*, la intensidad y la resistencia.

a) ¿Cuál o cuáles son características del elemento colocado en el circuito?

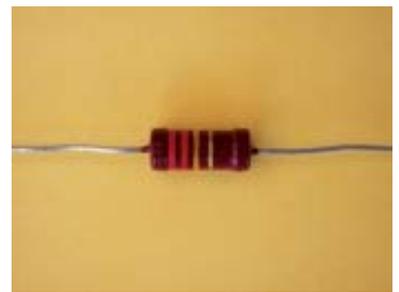
b) ¿Cuál o cuáles son características del generador utilizado en el circuito?

A veces encontramos la ley de Ohm escrita así:  $V_{AB} = IR$

c) ¿Te parece correcto decir que la *ddp* depende de la intensidad? Explica la respuesta. Si la  $I = 0$ , ¿supone eso que la *ddp* debe ser también nula?

d) ¿Qué podemos entender por un material cuya resistencia sea infinita? ¿Podemos considerar un interruptor abierto como una  $R = \infty$ ?

RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	
Aluminio	$2,63 \cdot 10^{-8}$
Carbón	$3500 \cdot 10^{-8}$
Cobre	$1,72 \cdot 10^{-8}$
Hierro	$10 \cdot 10^{-8}$
Latón	$6-8 \cdot 10^{-8}$
Mercurio	$94 \cdot 10^{-8}$
Nicromo	$100 \cdot 10^{-8}$
Plata	$1,47 \cdot 10^{-8}$
Plomo	$22 \cdot 10^{-8}$
Wolframio	$5,51 \cdot 10^{-8}$



En los circuitos electrónicos se utilizan dispositivos llamados resistores. El de la fotografía tiene una resistencia de 220000  $\Omega$ .

## Asociación de resistencias

Las resistencias en un circuito se pueden conectar en serie y en paralelo.

**A.20.-** a) ¿Brillan igual las bombillas cuando están conectadas en serie y en paralelo? Compruébalo utilizando una pila de 4,5 V y dos bombillas.

b) ¿Qué ocurrirá si se desconecta una de las bombillas en la conexión en serie? ¿Y en la conexión en paralelo?

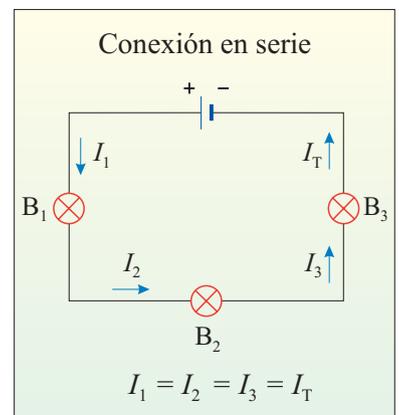
En la conexión en **serie** las cargas que se mueven pasan por todos los elementos del circuito. Los elementos colocados en serie se influyen entre sí de forma que un cambio en uno altera el funcionamiento de los demás. La intensidad en cada uno de esos elementos es la misma e igual a la intensidad total en el circuito.

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_T$$

En un circuito en **paralelo** por cada elemento pasa sólo una parte de las cargas que se mueven. El funcionamiento de cada elemento es independiente del funcionamiento de los otros. Un cambio en un elemento no afecta a los demás. Las instalaciones domésticas e industriales se hacen en paralelo. De esta forma, si se desconecta un aparato los demás siguen funcionando.

La intensidad de la corriente en un elemento puede ser diferente a la que haya en otro y sólo depende de la *ddp* a la que está conectado, que es igual para todos, y de la resistencia de cada elemento. La intensidad total,  $I_T$ , es la suma de las intensidades en cada elemento ( $I_1, I_2, I_3$ ).

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$



Las dos bombillas de la lámpara están conectadas en paralelo.

**A.21.-** a) Comprueba, utilizando un voltímetro y un amperímetro, que se cumplen las relaciones expuestas, en los circuitos serie y paralelo de la actividad anterior. Dibuja los esquemas de todas las conexiones del voltímetro y el amperímetro que tendrás que realizar. Explica las posibles causas de error.

b) ¿Cuál será la resistencia total de cada circuito?, ¿en qué caso es mayor?

## Resistencia equivalente

Si en un circuito en serie o en paralelo, sustituimos todos los elementos por uno de forma que la intensidad total en el circuito siga siendo la misma, a la resistencia de ese elemento la llamamos **resistencia equivalente** del circuito,  $R_e$ .

El valor de la resistencia equivalente se puede calcular aplicando la ley de Ohm, midiendo la intensidad total en el circuito y la  $ddp$  a la que está conectada.

Si se conoce la resistencia de cada elemento, la resistencia equivalente se puede calcular como ahora veremos:

### Resistencias en serie:

$$\text{Se cumple que: } \begin{cases} \Delta V_T = \Delta V_1 + \Delta V_2 \\ I_T = I_1 = I_2 \end{cases}$$

Si llamamos  $R_e$  al valor de una resistencia equivalente de la asociación en serie de  $R_1$  y  $R_2$ , aplicando la ley de Ohm a cada elemento y teniendo en cuenta la igualdad de las intensidades en todos ellos, podemos escribir:

$$\begin{aligned} \Delta V_T &= \Delta V_1 + \Delta V_2 \\ I_T R_e &= I_T R_1 + I_T R_2 = I_T (R_1 + R_2) \end{aligned}$$

$$R_e = R_1 + R_2$$

El valor de la resistencia equivalente de una asociación de resistencias en serie aumenta a medida que lo hace el número de resistencias conectadas.

### Resistencias en paralelo:

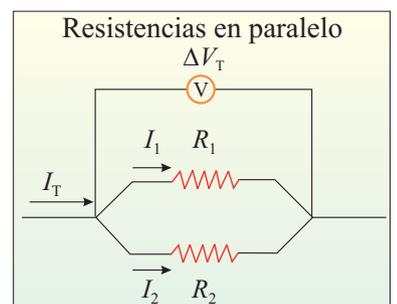
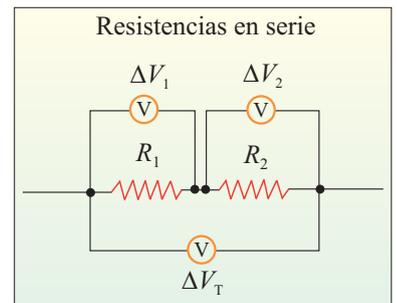
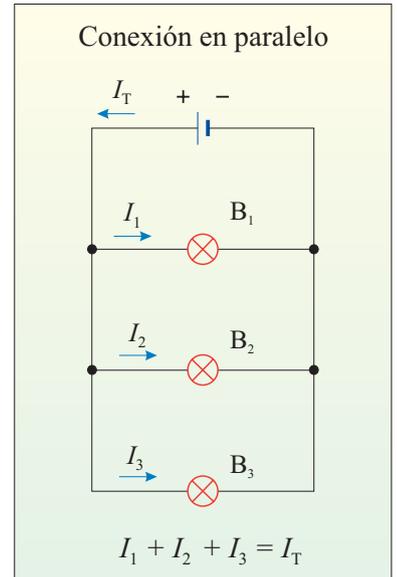
$$\text{Se cumple que: } \begin{cases} \Delta V_T = \Delta V_1 = \Delta V_2 \\ I_T = I_1 + I_2 \end{cases}$$

Si llamamos  $R_e$  al valor de una resistencia equivalente al de la asociación en paralelo de  $R_1$  y  $R_2$ , aplicando la ley de Ohm a cada elemento y teniendo en cuenta la igualdad de la  $ddp$  a la que están conectados todos los elementos, podemos escribir:

$$\begin{aligned} I_T &= I_1 + I_2 \\ \frac{\Delta V_T}{R_e} &= \frac{\Delta V_T}{R_1} + \frac{\Delta V_T}{R_2} = \Delta V_T \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \end{aligned}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

El valor de la resistencia equivalente de una asociación de resistencias en paralelo disminuye a medida que lo hace el número de resistencias conectadas.



## EJEMPLO

En un circuito eléctrico como el de la figura adjunta calcula los valores de las siguientes magnitudes:

- Resistencia equivalente de todo el circuito.
- La intensidad que marcaría cada uno de los amperímetros.
- Las *ddp*:  $(V_A - V_B)$ ,  $(V_B - V_C)$ ,  $(V_A - V_C)$ .

a) Para calcular la resistencia equivalente de todo el circuito debemos sumar primero las dos resistencias que están en serie. La resistencia equivalente de esa rama es de  $500 \Omega$ . El paso siguiente es calcular la resistencia equivalente de dos resistencias en paralelo, una de  $500 \Omega$  y otra de  $125 \Omega$ .

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{500} + \frac{1}{125} = \frac{1}{500} + \frac{4}{500} = \frac{5}{500} \Rightarrow R_e = \frac{500}{5} = 100 \Omega$$

b) La intensidad de corriente en los amperímetros 1 y 4 será la misma. Su valor se calcula aplicando la ley de Ohm a un circuito equivalente al dibujado que estaría formado por una pila de  $40 \text{ V}$  y una resistencia de  $100 \Omega$ .

$$I_T = \frac{\Delta V}{R_e} = \frac{40}{100} = 0,4 \text{ A}$$

La intensidad en la resistencia de  $125 \Omega$ ,  $I_2$ , la podemos calcular aplicando la ley de Ohm a esa rama. Si suponemos cables ideales,  $V_A - V_C = 40 \text{ V}$ , igual a la *ddp* entre los polos de la pila. Por lo tanto,

$$I_2 = \frac{40}{125} = 0,32 \text{ A}$$

De la misma forma podemos calcular la intensidad,  $I_3$ , en la otra rama:

$$I_3 = \frac{40}{500} = 0,08 \text{ A}$$

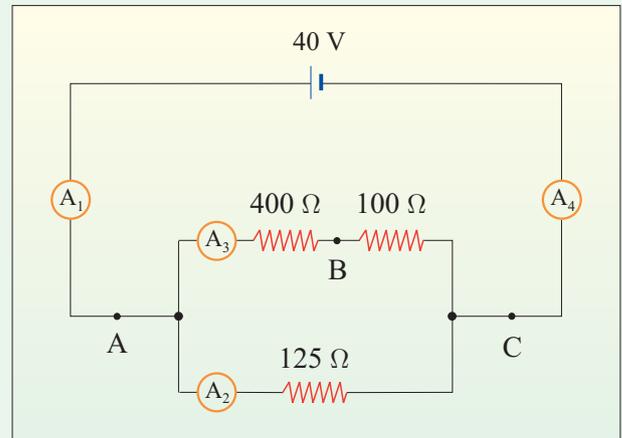
Como resistencia de esa rama se ha tomado  $500 \Omega$ , que es la resistencia equivalente de la asociación en serie. Analizando los resultados obtenidos podemos comprobar que  $I_1 = I_4 = I_2 + I_3$

c) Para calcular las diferencias de potencial, podemos aplicar la ley de Ohm conocida la intensidad y la resistencia. Así podemos escribir:

$$V_A - V_B = I_3 \cdot 400 = 0,08 \cdot 400 = 32 \text{ V}$$

$$V_B - V_C = I_3 \cdot 100 = 0,08 \cdot 100 = 8 \text{ V}$$

Si aplicamos la ley de Ohm a la resistencia de  $125 \Omega$ :  $V_A - V_C = I_2 \cdot 125 = 0,32 \cdot 125 = 40 \text{ V}$ , se obtiene el mismo valor de la diferencia de potencial, resultado lógico pues la diferencia de potencial entre dos puntos sólo depende de esos puntos y no del camino seguido para pasar de uno a otro.



**A.22.-** a) Si tienes en casa encendida dos bombillas iguales de  $750 \Omega$ , ¿cuál es el valor de la resistencia equivalente del circuito?

b) ¿Cuál será la intensidad de corriente que marque un amperímetro que mida la intensidad total? ¿Cuál será la intensidad en una de las bombillas?

c) Si enciendes otra bombilla la resistencia equivalente del circuito ¿habrá aumentado o disminuido?, ¿y la intensidad total?

**A.23.-** En los circuitos electrónicos se suelen utilizar elementos, llamados resistores o resistencias, que se pueden conectar en serie y/o en paralelo para que el conjunto tenga una resistencia determinada. ¿Cuántos resistores de  $10 \Omega$  pondrías y cómo los conectarías para que la resistencia del conjunto fuese de: a)  $5 \Omega$ , b)  $20 \Omega$ , c)  $25 \Omega$ ? Dibuja las conexiones que harías en cada caso.

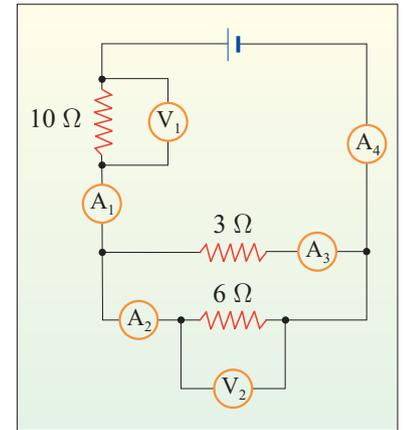
**A.24.-** a) Haz un estudio cualitativo del circuito del dibujo y compara:

1) Los valores que marcan los amperímetros.

2) Los valores que marcan los voltímetros.

b) Calcula esos valores si la *fem* del generador es 24 V.

c) ¿Cómo variarían los valores que has calculado si desconectásemos la resistencia de 3 Ω?



### 3.4 Conservación de la energía en los circuitos

La energía asociada a la corriente eléctrica no es una forma de energía como la energía cinética, potencial o interna, sino que debemos considerar a la corriente eléctrica como una forma de transferencia de energía entre el generador y los elementos del circuito. Cuando hablamos de **energía eléctrica** nos estamos refiriendo a este **proceso** de transferencia.

La expresión «consumo de energía eléctrica» no es rigurosamente correcta. Debemos entender con ella que el generador suministra energía a los elementos del circuito (bombillas, plancha, motores, etc.) y estos elementos ceden energía al medio externo.

Si aplicamos la conservación de la energía, la energía suministrada por el generador a las cargas será igual que la energía que luego perderán las cargas en los elementos del circuito. Si consideramos un circuito muy simple formado por una pila y una resistencia óhmica podemos escribir:

energía suministrada en el generador = energía perdida en la resistencia

$$q \varepsilon = q V_{AB}$$

Si tenemos en cuenta la relación entre intensidad, diferencia de potencial y resistencia que establece la ley de Ohm, se obtiene la llamada **ecuación del circuito**.

$$\varepsilon = IR$$

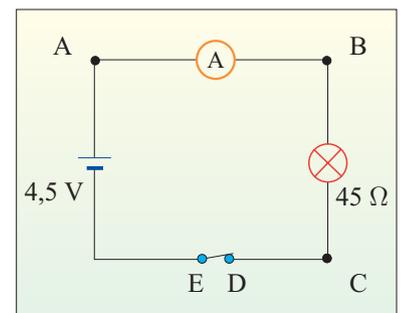
**A.25.-** En el circuito de la figura la fuerza electromotriz de la pila es de 4,5 V y la bombilla tiene una resistencia de 45 Ω.

a) ¿Cuánto marcará el amperímetro?

b) Calcula la energía aportada por el generador a las cargas en 10 minutos.

c) Calcula la energía cedida por las cargas a la bombilla en esos 10 minutos.

d) ¿Cuánto marcará un voltímetro conectado entre los puntos B y C?, ¿y entre los puntos D y E?



Responde a las preguntas de la A.25 suponiendo que el interruptor ED estuviese abierto.

**A.26.-** La ley de Ohm se puede escribir  $V_{AB} = IR$ , siendo A y B los bornes de un generador. La ecuación del circuito se escribe  $\varepsilon = IR$ . Si comparamos ambas podemos escribir que  $\varepsilon = V_{AB}$ .

¿Crees que es lo mismo fuerza electromotriz que diferencia de potencial? Explica la respuesta.

### Pilas ideales y pilas reales

Cuando se conecta un voltímetro entre los polos de una pila marca la diferencia de energía que tiene la unidad de carga entre los dos polos, es decir la *ddp*. Si se trata de una **pila ideal**, lo que marca el voltímetro es igual a la *fem* de la pila, es decir, a la energía que la pila transfiere a cada unidad de carga.

Si se trata de una **pila real**, el voltímetro marca menos que el valor de la *fem*. Se debe a que la pila cuando funciona se calienta, es decir, que parte de la energía que la pila ha dado a las cargas se transforma en energía interna de la pila. Por lo tanto, el voltímetro marcará la energía que la pila ha dado a cada unidad de carga menos la que ha cedido cada unidad de carga por efecto Joule en el interior de la pila. Se dice que la pila tiene una **resistencia interna** ( $r_g$ ). La resistencia interna de la batería de un coche en buen estado es de unos  $0,005 \Omega$  mientras que la resistencia interna de una pila de linterna es aproximadamente de  $1 \Omega$ .

Una pila real la podemos considerar como el conjunto de una pila ideal en serie con su resistencia interna, como se representa en el dibujo.

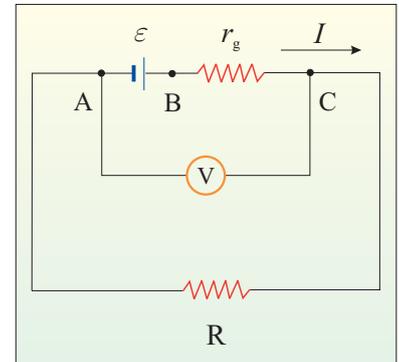
La diferencia de energía potencial que tienen las cargas entre A y C será igual a la energía que le haya dado la pila menos la energía que hayan perdido en su interior «al pasar» por la resistencia interna.

$$q(V_C - V_A) = q\varepsilon - q(V_B - V_C)$$

Aplicando la ley de Ohm a la resistencia interna:  $(V_B - V_C) = I r_g$ . Por lo tanto, podemos escribir:

$$V_C - V_A = \varepsilon - (V_B - V_C) = \varepsilon - I r_g$$

La fuerza electromotriz no cambia apreciablemente; es la misma durante toda la vida útil de la pila o batería. La resistencia interna de una pila o batería va aumentando conforme se va gastando.



**A.27.-** a) Construye un circuito con una pila de 4,5 V y una resistencia externa. Mide la *ddp* entre los bornes de la pila y la intensidad en el circuito para diferentes valores de la resistencia externa (por ejemplo, para 1000, 100 y  $10 \Omega$ ). Anota los valores de *ddp* y de intensidad medidos y calcula la fuerza electromotriz de la pila y su resistencia interna.

b) Supongamos que quitamos la resistencia externa, ¿cuánto marcará el amperímetro? Compruébalo. ¿Cuánto marcará el voltímetro? Compruébalo.

**Ecuación del circuito** cuando la pila es real: aplicando el principio de conservación de la energía al circuito, la energía aportada por la pila a los electrones será igual a la que estos electrones pierdan en la resistencia exterior y en la resistencia de la pila. Si además, tenemos en cuenta la relación entre intensidad, *ddp* y resistencia que establece la ley de Ohm se puede obtener:

$$\varepsilon = IR + I r_g$$

**¿Cuánta intensidad de corriente puede haber en una pila?** En una pila ideal no hay límite para el valor de la intensidad. El valor de la intensidad sólo dependerá de la resistencia externa. Si la resistencia externa es grande, la intensidad será pequeña, pero si la resistencia externa es muy pequeña, la intensidad será muy grande, **teóricamente** puede llegar hasta ser infinita.

¿Qué intensidad habría en una pila si uniésemos sus polos con un cable sin resistencia óhmica?

Ahora bien, una pila real tiene un límite máximo para la intensidad que puede «producir» en un circuito real. Por un lado, la resistencia externa nunca puede ser nula, pues los cables tienen una cierta resistencia, aunque sea pequeña. Además, la resistencia interna de la pila también provoca que haya un límite máximo a la intensidad que pueda producir esa pila, pues para ese valor de la intensidad la *ddp* entre los bornes de la pila será nulo.



#### 4.14

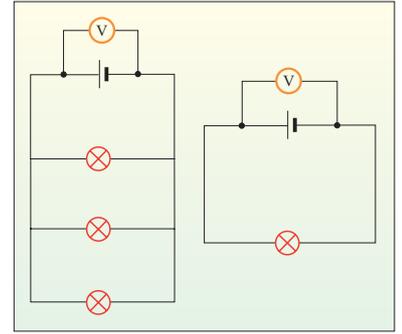
Excelente simulación para la construcción de circuitos de corriente continua. Puede modificarse el valor de la fuerza electromotriz, considerar si hay o no resistencia interna de la pila, se pueden colocar amperímetros y voltímetros, también resistencias en serie y en paralelo, etc.

**A.28.-** a) Con los datos obtenidos en la actividad anterior calcula la intensidad máxima que puede proporcionar la pila utilizada.

b) En los circuitos de la figura la pila y las bombillas son iguales. ¿Marcarán igual los voltímetros? Razona la respuesta. Compruébalo experimentalmente.

c) ¿Qué problema plantea conectar muchas bombillas en paralelo a una pila real?

d) En el lenguaje técnico se dice: «esta fuente de alimentación es de 30 A». ¿Se refiere eso a que esa fuente produce siempre una corriente de 30 amperios? ¿Qué puede significar la expresión anterior?



### 3.5 Energía y potencia asociadas a la corriente eléctrica

Los electrones aumentan su energía en el generador, y la pierden en los distintos elementos del circuito; como consecuencia de ello hay un aumento de otro tipo de energía: energía interna del conductor (aumento de temperatura o electrólisis), energía cinética (motores), etc. A partir de las definiciones de los conceptos de intensidad y  $ddp$ , podemos cuantificar la energía transferida entre el generador y los elementos del circuito en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

$$\Delta E = q \Delta V = I \Delta t \Delta V$$

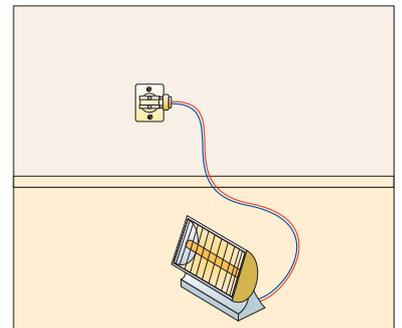
La potencia, energía transferida en cada segundo, la podemos expresar como:

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

Recuerda que la unidad de potencia en el SI es el vatio (W) y un múltiplo es el kilovatio (kW). y que el kilovatiohora (kWh) es una unidad de energía, que equivale a 3600000 J.

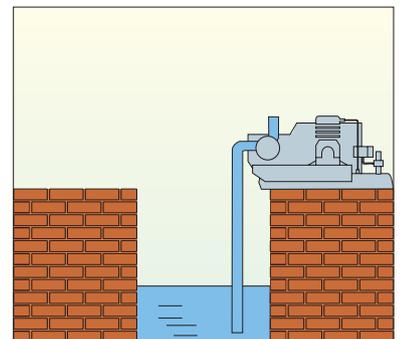
**A.29.-** Para aumentar la temperatura de una habitación desde 15 °C a 20 °C, podemos usar una estufa eléctrica de 1 kW u otra de 2 kW.

- ¿Cuál de ellas «consumirá» más energía?
- ¿Qué ventaja tiene utilizar la estufa de 2 kW?



**A.30.-** Un motor eléctrico de 0,5 CV se utiliza para sacar agua de un pozo desde una profundidad de 20 m.

- ¿Qué volumen de agua subirá, como máximo, en dos horas?
- ¿Cuánto costará mantenerlo funcionando las dos horas si el precio del kWh es de 0,082 euros?



**A.31.-** Una bombilla tiene la inscripción 25 W/220 V mientras que una lámpara halógena tiene la inscripción 40 W/12 V.

- ¿Qué significan los datos anteriores? ¿Cuál brillará más? ¿Cuál «gastará» más energía?
- ¿Qué intensidad de corriente circula por el filamento de cada una si se conectan al voltaje indicado?
- ¿Cuál es la resistencia de cada una de las bombillas?

Los aparatos eléctricos se construyen adecuados al voltaje o *ddp* al que se van a conectar. Por eso, traen una inscripción que informa del voltaje al que se debe conectar para un funcionamiento óptimo, así como la potencia del aparato para ese voltaje. Cuando se conecta ese mismo aparato a un voltaje diferente para el que está diseñado, el aparato no funciona correctamente y su potencia (energía que transfiere en cada unidad de tiempo) ya no se corresponde con la que indica el fabricante.

La potencia no es una magnitud propia de un aparato, ya que depende del voltaje o *ddp* al que se conecte; sin embargo, en condiciones normales de funcionamiento, cuando está conectado al voltaje que recomienda el fabricante, la potencia coincide con la que se indica en la inscripción.



**A.32.-** Un tostador de pan tiene la inscripción 1200 W/220 V. Calcula la potencia que desarrolla si se conecta a los terminales de la batería de un automóvil cuya fuerza electromotriz es 12 V.

### Efecto Joule

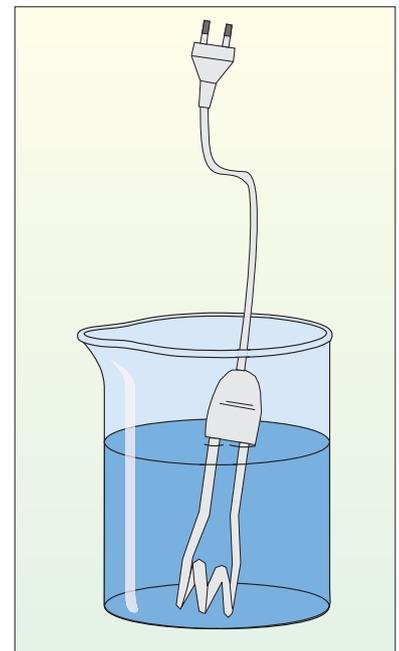
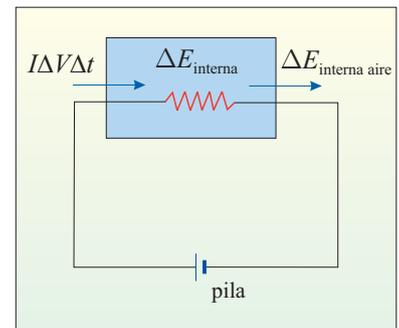
Cuando una corriente circula por un conductor se produce un aumento de la temperatura de éste, y como consecuencia de la diferencia de temperatura entre el conductor y el medio circundante se produce una transferencia de energía del primero al segundo. Es lo que ocurre en una estufa eléctrica, en una hornilla eléctrica y en otros casos. Este efecto de la corriente eléctrica se conoce como efecto Joule.

En ocasiones, el aumento de temperatura que experimenta el conductor es tal que lo convierte en un cuerpo luminoso, es decir en un cuerpo que emite luz. La resistencia de una estufa se convierte en una fuente luminosa al estar conectada, si bien en ese caso la emisión de luz es pequeña en comparación con el efecto calorífico producido. Las bombillas de incandescencia tienen el mismo fundamento, pero en este caso la temperatura que alcanza el filamento es muy alta y la emisión de radiación visible es más importante que la energía de radiación térmica.

Si el conductor alcanza una situación de equilibrio térmico, toda la energía cedida al conductor en forma de energía interna la habrá cedido éste al exterior.

La energía transferida por la corriente eléctrica:  $\Delta E = I \Delta t V_{AB}$ , en un conductor por efecto Joule, podemos expresarla en función de las características del conductor. Teniendo en cuenta la ley de Ohm,  $V_{AB} = IR$ , se obtiene otra expresión que permite calcular la energía cedida (calor  $Q$ ) por el conductor:

$$\Delta E = Q = I^2 R \Delta t$$



**A.33.-** La resistencia de un termo eléctrico es de 25 Ω.  
 a) ¿Cuánta energía habrá cedido al agua en una hora, si se conecta a 220 V?  
 b) ¿Cuánta energía cedería el termo en una hora si lo conectáramos a la batería del coche donde la *ddp* es de 12 V?  
 c) ¿Cuál es la potencia del termo?

**A.34.-** a) ¿Cuánto tiempo, como mínimo, tardará una resistencia de inmersión de 300 W – 220 V en aumentar la temperatura de medio litro de agua desde 20 °C hasta 60 °C?  
 b) ¿Cuál sería el rendimiento del proceso si al realizarlo prácticamente hubiese tardado 5 minutos y 30 segundos?

**A.35.-** Construye frases referidas a una bombilla (10 W – 3,5 V), que está luciendo, en las que se incluya al menos una vez, cada una de las siguientes palabras: energía, potencia, *ddp*, resistencia e intensidad.

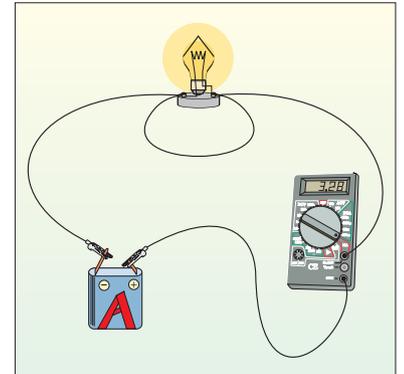
## Cortocircuitos

Cuando los dos polos de un generador (pila) se unen a través de un cable que tiene poca resistencia, se produce un cortocircuito. Puesto que la resistencia es muy pequeña, la intensidad de corriente que circula por el circuito será muy elevada lo que producirá un aumento del efecto Joule en los cables del circuito. Eso puede dar lugar a que se fundan los cables, a que salte una chispa en alguna parte de la instalación y se produzca un incendio, etc.

**A.36.-** a) Monta un circuito como el de la figura y comprueba lo que sucede cuando el cable «cortocircuita» a la bombilla. ¡Cuidado con el amperímetro!, debe estar en la escala de máxima intensidad.

b) ¿Qué ha pasado con la intensidad que circula por el circuito al producirse el cortocircuito? ¿Qué ha pasado con el brillo de la bombilla?

c) Aplicando los conocimientos sobre asociación de resistencias y teniendo en cuenta la ley de Ohm, explica por qué ocurre lo que has observado.



## Fusibles

Para proteger los circuitos, y los aparatos dentro de los circuitos, se colocan los fusibles. Un fusible es un trozo de cable eléctrico de pequeña sección transversal que se funde cuando circula por él una corriente cuya intensidad es mayor que aquella para la que está diseñado. Se dice un fusible de 2 A, de 5 A, etc., indicando con ello el valor máximo de la intensidad de corriente que puede circular antes de que se funda, interrumpiendo el circuito.

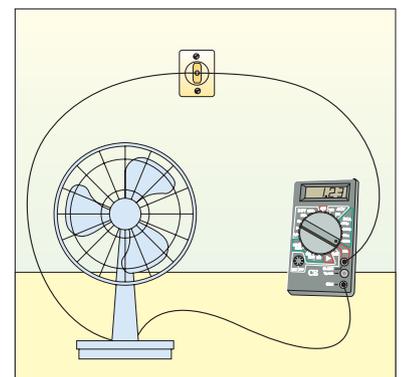
**A.37.-** a) ¿Cómo deberemos colocar el fusible para proteger a un determinado aparato, en serie o en paralelo con éste?

b) Explica por qué se funde el fusible cuando la intensidad supera el valor para el que está construido.

## 3.6 Ecuación del circuito generalizada

El amperímetro marca 0,1 A cuando el ventilador de la figura está funcionando normalmente y 10 A cuando el ventilador está conectado, pero no gira porque tiene un obstáculo entre las aspas. El voltaje al que está conectado el ventilador no ha cambiado pues está conectado al mismo enchufe, y tampoco cabe suponer que haya cambiado la resistencia del ventilador, ya que no hemos modificado el cable que forma el motor del ventilador. Entonces, si no cambia ni el voltaje ni la resistencia, ¿cómo es que cambia la intensidad?, ¿no se cumple la ley de Ohm?

La ley de Ohm tal como la hemos escrito sólo se puede aplicar a elementos en los que haya aumento de energía interna por efecto Joule (bombillas, estufas, termos, etc.). A estos elementos los caracterizamos por su resistencia  $R$ . Cuando en un circuito hay motores, baterías recargándose, o cualquier otro elemento en que se produzcan transfe-



rencias de energía diferentes al efecto Joule, debemos enunciar otra ley más general que tenga en cuenta las características de estos elementos.

En el caso de los aparatos provistos de motores, hay un aumento de energía cinética o potencial gravitatoria pues el motor gira y puede variar la rapidez y posición de un cuerpo, y en el caso de una batería en proceso de carga, hay un aumento de energía interna, aunque no es porque haya un aumento de la temperatura, sino a que se lleva a cabo una reacción química. No obstante, también en los motores y baterías se produce un aumento de temperatura por efecto Joule, aunque éste no sea el efecto deseado. Para que todo esto pueda ocurrir debe haber una disminución de energía en el generador.

**A.38.-** Se tiene un circuito formado por un generador (pila o dinamo), un termo eléctrico y un motor. Indica las transferencias energéticas que tienen lugar y los sistemas que sufren transformaciones.

La energía que suministra el generador en un período de tiempo en función de su fuerza electromotriz es:

$$\varepsilon q = \varepsilon I \Delta t$$

El principal dispositivo consumidor de energía por efecto Joule en el circuito es el termo; pero es necesario tener en cuenta que en el generador no sólo se transfiere energía al circuito, sino que parte de esta energía la consume dentro el generador por efecto Joule. De la misma manera en el motor, formado por bobinas de cables metálicos, se transforma la energía por efecto Joule. Si llamamos  $R$ ,  $r_g$  y  $r_m$  a los valores de las resistencias del termo, del generador y del motor respectivamente, podremos expresar la energía consumida en todo el circuito por efecto Joule:

$$R I^2 \Delta t + r_g I^2 \Delta t + r_m I^2 \Delta t$$

Para poder expresar la parte de energía que el motor transforma en energía cinética (no por efecto Joule), se introduce una magnitud a la que denominamos fuerza contraelectromotriz  $\varepsilon'$ .

Fuerza contraelectromotriz ( $\varepsilon'$ ) de un motor cuantifica la disminución de energía que experimenta cada unidad de carga que pasa por él y que da lugar a un aumento de energía cinética.

La energía transferida por la corriente eléctrica que transforma el motor en energía cinética es:

$$\varepsilon' q = \varepsilon' I \Delta t$$

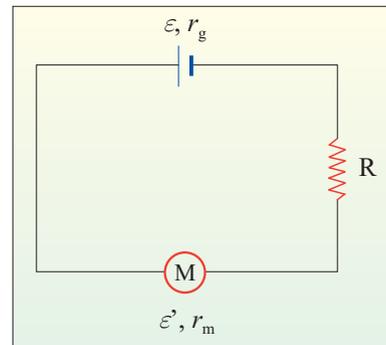
Aplicando el principio de conservación de la energía, la energía que suministra el generador será igual a la energía total transferida en el circuito:

$$\varepsilon I \Delta t = R I^2 \Delta t + r_g I^2 \Delta t + r_m I^2 \Delta t + \varepsilon' I \Delta t$$

A partir de esa ecuación se obtiene la ecuación del circuito:

$$I = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r_g + r_m}$$

La expresión anterior se conoce también como ley de Ohm generalizada. Permite calcular la intensidad de corriente teniendo en cuenta los diferentes elementos que pueden formar ese circuito.



Bobina de un motor



## 4.15

Puedes construir circuitos eléctricos y comprobar en ellos el cumplimiento de las ecuaciones del circuito y de la ley de Ohm. Especialmente interesante utilizar la simulación «ley de Ohm generalizada» que permite construir circuitos con motores.

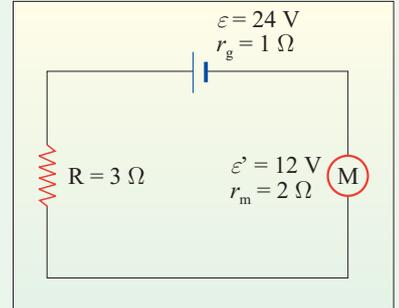
**A.39.-** a) Justifica el aumento de la intensidad de corriente cuando colocamos el obstáculo entre las aspas del ventilador de forma que no puede girar.

b) ¿Por qué se «quemara» el motor si, durante un tiempo, detenemos las aspas del ventilador estando conectado?

### EJEMPLO

En el circuito representado en la figura hay un generador, ( $\varepsilon = 24 \text{ V}$ ,  $r_g = 1 \Omega$ ), un motor ( $\varepsilon' = 12 \text{ V}$ ,  $r_m = 2 \Omega$ ) y una resistencia de  $3 \Omega$ . Calcula:

- La intensidad de la corriente en el circuito.
- La potencia transferida por efecto Joule en todos los elementos del circuito.
- La potencia útil del motor.
- El rendimiento del motor.
- La potencia suministrada al circuito.
- La energía consumida en 10 minutos.



a) La intensidad de corriente en el circuito la calculamos aplicando la ecuación del circuito generalizada:

$$I = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r_g + r_m} = \frac{24 - 12}{3 + 1 + 2} = 2 \text{ A}$$

b) La potencia transferida por efecto Joule se puede calcular con la expresión:  $P = I^2 R$

En la resistencia exterior:  $P = 2^2 \cdot 3 = 12 \text{ W}$ .

En la resistencia interna de la pila:  $P = 2^2 \cdot 1 = 4 \text{ W}$ .

En la resistencia del motor:  $P = 2^2 \cdot 2 = 8 \text{ W}$ .

Por lo tanto, la potencia total disipada por efecto Joule es de  $12 + 4 + 8 = 24 \text{ W}$ .

c) La potencia útil del motor se calcula con la expresión  $P = I \varepsilon' = 2 \cdot 12 = 24 \text{ W}$ .

d) El rendimiento del motor lo calculamos como el cociente entre la energía aprovechada por el motor y la energía utilizada por el motor. La energía utilizada será igual a la aprovechada más la disipada por efecto Joule. A efectos de cálculo del rendimiento es lo mismo utilizar energía que potencia.

$$\text{rendimiento} = \frac{\text{potencia aprovechada}}{\text{potencia utilizada}} = \frac{24}{24 + 8} = 0,75$$

Es frecuente expresar el rendimiento en tantos por ciento. En este caso, el rendimiento del motor es del 75 %.

e) La potencia suministrada al circuito es la que aporta la pila. Su valor es:  $2 \cdot 24 = 48 \text{ W}$ .

Puede comprobarse que la potencia suministrada coincide con la transformada, por todos los efectos, en el circuito. En efecto, en el circuito se transformaban  $24 \text{ W}$  por efecto Joule y otros  $24 \text{ W}$  en el motor.

f) La energía total «consumida» en 10 minutos se puede calcular a partir de la potencia y el tiempo:

$$\Delta E = 48 \cdot 600 = 28800 \text{ J}$$

**A.40.-** Se tiene una dinamo de  $\varepsilon = 220 \text{ V}$  y resistencia interna despreciable. En paralelo se conectan un termo eléctrico cuya resistencia es de  $50 \Omega$  y un ventilador cuyo motor tiene una resistencia de  $40 \Omega$  y una  $\varepsilon' = 200 \text{ V}$ .

- Haz un esquema del circuito.
- Calcula la intensidad de la corriente en el generador, supuesta despreciable la resistencia interna del generador.
- ¿Cuánta energía «consume» el termo cada segundo?
- ¿Cuál es la potencia útil del motor?
- ¿Cuánta energía eléctrica se consumiría si estuvieran conectados ambos aparatos durante media hora?

## EJERCICIOS DE RECAPITULACIÓN

1. En un tubo de TV los electrones van desde un punto A a otro B separado 20 cm del primero y que podemos suponerlo sobre la pantalla, en el que el potencial es 20000 V mayor.

a) Suponiendo que esos puntos están en un campo eléctrico uniforme, calcula la intensidad de campo en esa zona. ¿Cuál será la dirección y sentido de la intensidad de campo?

b) Calcula la fuerza eléctrica que ejerce el campo sobre el electrón. Compara ese valor con la fuerza gravitatoria que ejerce la Tierra sobre el electrón.

c) ¿Habría aumentado o disminuido la energía potencial eléctrica del sistema formado por el campo eléctrico y un electrón? Calcula cuál ha sido la variación.

d) Calcula la variación de energía potencial eléctrica en 10 minutos si desde el punto A al B se mantiene una intensidad de corriente de 0,003 A.

a)  $E = 100000 \text{ N/C}$ ; b)  $F_e = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ N}$ ;  $F_g = 8,9 \cdot 10^{-30} \text{ N}$ ; c) disminuye;  $\Delta E_p = -3,2 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ ; d)  $\Delta E = 36000 \text{ J}$

2. Una pila de 1,5 V de fem forma parte de un circuito por el que circula una corriente de 0,6 A. a) ¿Cuánto disminuye la energía interna de la pila si está funcionando durante media hora? b) Calcula la carga que ha circulado por el amperímetro en ese tiempo. c) ¿Cuántos electrones han circulado por él?

a) 1620 J; b) 1080 C; c)  $6,75 \cdot 10^{21}$  electrones

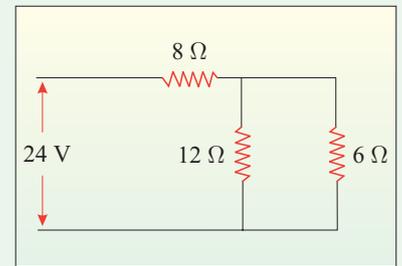
3. a) En el circuito de la figura calcula la resistencia equivalente.

b) Calcula la intensidad de la corriente en cada resistencia.

c) Calcula la ddp entre los extremos de cada resistencia.

a)  $R_e = 12 \Omega$ ; b)  $I_8 = 2 \text{ A}$ ,  $I_{12} = 0,66 \text{ A}$ ,  $I_6 = 1,33 \text{ A}$ ;

c)  $\Delta V_8 = 16 \text{ V}$ ;  $\Delta V_{12} = \Delta V_6 = 8 \text{ V}$



4. En una vivienda funcionan, durante dos horas, tres lámparas de 60 W y una estufa de 1000 W. El voltaje es de 220 V. Calcula:

a) La energía transformada.

b) La intensidad de la corriente en la estufa.

c) La resistencia equivalente del circuito.

a)  $\Delta E = 2,36 \text{ kWh}$ ; b)  $I = 4,54 \text{ A}$ ; c)  $R_e = 41 \Omega$

5. Las lavadoras tienen un sistema calefactor para calentar el agua. Se quiere hacer una lavado a 60 °C, para lo que en una de las etapas del lavado se necesita calentar 20 L de agua. ¿Cuánto cuesta esta etapa del lavado?

Datos: temperatura ambiente = 15 °C, precio del kWh = 0,08 euros, rendimiento = 80 %, voltaje = 220 V.

0,1 euros

6. Dos resistencias de 4 y 12 Ω se conectan en paralelo a una batería de fuerza electromotriz 22 V y de 1 Ω de resistencia interna.

a) Haz un esquema del circuito.

b) Calcula la intensidad de corriente en la batería y en cada una de las resistencias.

c) ¿Cuánto marcaría un voltímetro conectado entre los bornes de la batería?

d) ¿En qué resistencia se produce una mayor transferencia de energía?

b)  $I_T = 5,5 \text{ A}$ ;  $I_4 = 4,1 \text{ A}$ ;  $I_{12} = 1,4 \text{ A}$ ; c)  $\Delta V = 16,5 \text{ V}$ ; d) en la de 4 Ω

7. Por el motor de un montacargas circula una corriente de 6 A, cuando sube un cuerpo de 400 kg con una rapidez de 8 m/min. El voltaje es 220 V. Calcula el rendimiento de la operación.

40 %

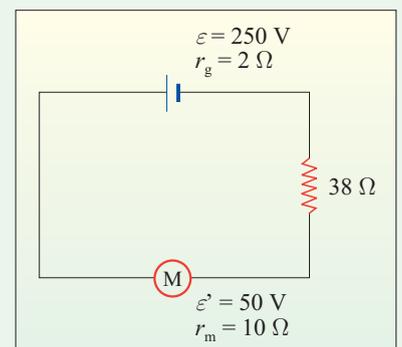
8. En el circuito de la figura, calcula:

a) La diferencia de potencial entre los bornes del generador.

b) El rendimiento del motor.

c) La energía transferida en cada unidad de tiempo, por efecto Joule, en la resistencia de 38 Ω.

a)  $\Delta V = 242 \text{ V}$ ; b)  $r = 56 \%$ ; c)  $P = 608 \text{ W}$



# 4

## LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

Las aplicaciones técnicas de la electricidad son tan amplias que difícilmente podemos imaginar lo que supondría en la actualidad prescindir de ella. Sin embargo, su utilización doméstica e industrial es bastante reciente, comenzando a utilizarse a finales del siglo XIX y comienzos del XX. Para que se generalizara el uso de la energía eléctrica fue necesario que se dieran progresos en tres campos:

- En la producción de electricidad.
- En la distribución a puntos alejados de donde se producía.
- En los dispositivos adecuados para su aprovechamiento, como son las lámparas de alumbrado y los motores eléctricos.

### 4.1 La producción de corriente eléctrica

Los primeros generadores de electricidad que permitían un uso continuo de la misma fueron las pilas y posteriormente las baterías. Reconociendo la utilidad que tienen las pilas en aplicaciones que exigen un pequeño «consumo de energía eléctrica», es un procedimiento ineficaz cuando se trata de aportar cantidades medianas o grandes de energía.

Los sistemas generadores de electricidad por excelencia son las dinamos y alternadores, ambos basados en el principio de inducción electromagnética desarrollado por Faraday en 1831. El primer generador eléctrico fue presentado en París en 1832. Las primeras centrales eléctricas de cierta importancia se construyeron a finales del siglo XIX.

La figura representa un generador didáctico. Está formado por una bobina (o varias) que pueden girar en las proximidades de dos imanes, que están fijos. Los extremos del cable que forma la bobina están conectados a través de las escobillas al circuito exterior.

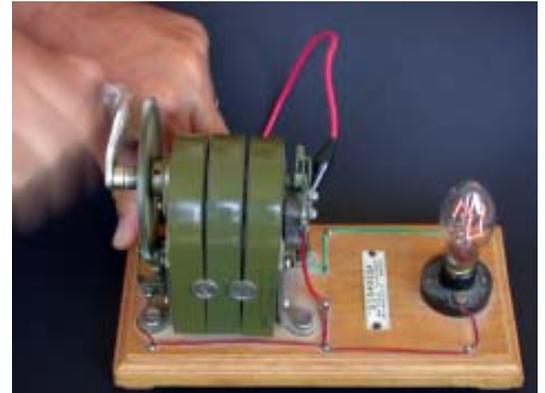
Los alternadores actuales tienen un funcionamiento similar al generador didáctico, aunque llegan a tener dimensiones muy grandes. Esas dimensiones se deben a que la fuerza electromotriz de estos generadores depende de:

- La superficie de las bobinas que giran.
- La velocidad con la que giran esas bobinas.
- Lo grande que sean los imanes. En realidad son electroimanes.

¿Cómo se hace girar las bobinas del generador? Todas las centrales eléctricas mueven las bobinas conectadas a las turbinas. La turbina es un dispositivo formado por una serie de aspas (álabes) solidarias a un eje que pueden girar al incidir sobre ellas un chorro de vapor a presión o un chorro de agua. El eje de la turbina está unido a la parte móvil del generador.

En las centrales hidroeléctricas la turbina es movida por agua que cae desde lo alto de una presa, y en las térmicas la turbina es movida por vapor de agua a presión. Los combustibles que utilizan las centrales térmicas son carbón, fueloil, o gas natural. Las centrales nucleares pueden considerarse como centrales térmicas, pero en este caso para obtener el vapor de agua a presión se utiliza la energía liberada en la fisión de los núcleos de átomos de uranio o plutonio.

La mayor parte de la energía eléctrica consumida en España proviene de las centrales térmicas, que en el año 2006 proporcionaron más del 60 %. Las centrales nucleares aportaron casi el 20 %, las centrales hidroeléctricas, prácticamente el 10 % y



#### 4.16

Selecciona la opción «Generador» y podrás observar una simulación del proceso de generar una corriente eléctrica alterna en una central hidroeléctrica. La sustitución del chorro de agua por un chorro de vapor ilustraría la producción de corriente eléctrica en una central térmica o incluso en una central nuclear.

los parques eólicos contribuyeron con el 7,6 %. Las centrales termosolares y fotovoltaicas «produjeron» energía eléctrica en cantidades muy pequeñas en comparación con el total producido.

España importa gran parte de los combustibles necesarios (carbón, gas natural, petróleo) para la producción de electricidad e incluso importa electricidad de otros países. Es necesario hacer un uso lo más racional posible de la energía y potenciar su ahorro con objeto de paliar los dos problemas principales que plantea su consumo: el impacto ambiental y el coste económico que le supone al país.



4.17

Presenta las curvas de demanda y producción en tiempo real de la energía eléctrica en España. Además indica la proporción en la que contribuye cada fuente energética en la generación eléctrica en ese momento. Hay conexión con la generación de origen eólico.

## 4.2 Distribución de corriente eléctrica

Al principio se generaba la electricidad en las cercanías del lugar de su utilización. De todas formas eran necesarias las uniones entre generador y aparatos donde se utilizaba por lo que fue desarrollándose la investigación sobre los materiales más adecuados para el transporte. Desde hace bastante tiempo se utiliza el cobre y, actualmente, el aluminio.

### El efecto Joule y la distribución de electricidad

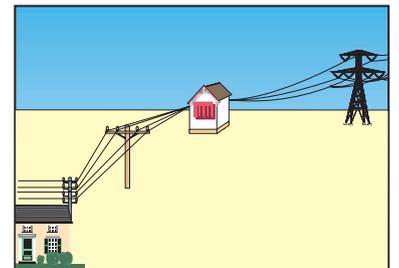
En la distribución de electricidad desde las centrales eléctricas hasta los lugares de consumo tiene mucha importancia la pérdida de energía debido al efecto Joule. La potencia disipada por efecto Joule la podemos expresar:

$$P_{\text{disipada}} = I^2 R$$

Para disminuir las pérdidas de energía es necesario que sea mínima la resistencia y la intensidad de corriente que circula por los cables.

Para que la resistencia de un tendido eléctrico sea la menor posible es necesario optimizar la longitud ( $l$ ) de la línea, la sección ( $S$ ) de los cables y el material con el que estén hechos los cables. Los tres factores influyen en el coste económico de la instalación. La longitud de la línea debe ser la menor posible, por ello se hacen en línea recta aunque esto suponga el paso del tendido por lugares escarpados. Los cables deben ser lo más gruesos posible; este factor está limitado por el coste económico. Para una misma longitud y un mismo grosor la resistencia de un cable será tanto menor cuanto mejor conductor sea el material con el que está hecho.

En las líneas de transporte de alta tensión los cables son de aluminio, pese a ser peor conductor que el cobre, pues su menor densidad permite utilizar cables más gruesos sin que el peso sea excesivo. Así se consigue que el peso de cada metro de línea sea menor y que los postes que soportan el tendido eléctrico estén más alejados unos de otros. El otro factor del que depende la potencia disipada es la intensidad de corriente en los cables que debe ser lo más pequeña posible.



**A.41.-** Una central hidroeléctrica produce corriente eléctrica para una ciudad que está a 50 km de distancia. Supongamos que la ciudad necesita una potencia de 3 MW y que vamos a utilizar un cable de aluminio de  $3 \text{ cm}^2$  de sección cuya resistencia es de  $10 \Omega$ .

a) ¿Cuál sería la intensidad de la corriente en el cable hasta la ciudad si el voltaje de esa corriente fuese de 220 V? ¿Cuál sería la potencia disipada en el cable, si se transportara una corriente de esta intensidad?

b) ¿Cuál sería la potencia disipada en el mismo cable si el voltaje fuese de 220000 V y se quisiera transferir la misma potencia?

Cuando se «transporta» una determinada potencia las pérdidas debidas al efecto Joule son menores cuanto mayor sea el voltaje. Por eso, las líneas de corriente entre las centrales y los lugares de consumo son de alto voltaje (llegando hasta los 380000 V en España). Sin embargo, una corriente de alto voltaje puede dar lugar a graves accidentes por lo que en los lugares de consumo se utilizan corrientes de bajo voltaje (220 V en las casas y 380 V en las industrias).

Los dispositivos que se utilizan para variar el voltaje son los transformadores.

## Los transformadores

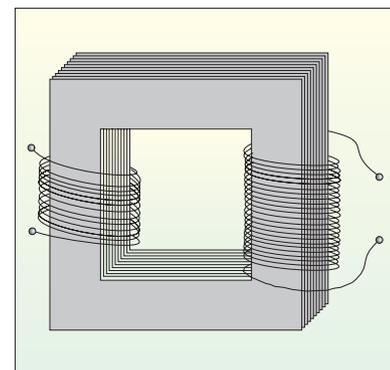
Un transformador consiste en dos arrollamientos de hilo conductor sobre un mismo núcleo de hierro. A los arrollamientos se le llama primario (entrada de corriente) y secundario (salida de la corriente). Para que el transformador funcione la corriente tiene que ser alterna. Por esta razón la corriente que se emplea para uso doméstico e industrial es alterna.

La relación entre el voltaje del primario y el secundario viene dada por la relación entre el número de espiras de ambos.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{n_p}{n_s}$$

Si queremos elevar el voltaje se utilizará un transformador en el que el número de espiras del primario sea menor que el del secundario ( $n_p < n_s$ ). A este tipo de transformador se le llama «de alta». Si queremos que la tensión sea menor en el secundario que en el primario se utilizará un transformador «de baja» ( $n_s < n_p$ ).

En los transformadores hay siempre pérdidas de energía debido a varias causas, entre ellas al efecto Joule, por lo que los transformadores de gran potencia deben tener un sistema de refrigeración eficaz. El tamaño del transformador está relacionado con la potencia máxima de la corriente que puede transformar con objeto de que el aumento de temperatura no sea excesivo. Los transformadores de gran potencia pueden tener un rendimiento de hasta un 98 %.



Transformadores en una central eléctrica.

**A.42.-** a) ¿Es posible que un mismo transformador pueda servir para elevar el voltaje y para disminuirla? Explica la respuesta.

b) Explica si son posibles los siguientes datos de voltaje e intensidad para el primario y el secundario de un transformador:

$$I_p = 40 \text{ A}, V_p = 100 \text{ V}; I_s = 10 \text{ A}, V_s = 500 \text{ V}$$

Los transformadores han sido muy importantes en el desarrollo de la industria eléctrica. Hasta que no se construyeron transformadores eficaces no comenzó a implantarse el uso doméstico e industrial de la corriente eléctrica.

## Redes de distribución

En España todas las centrales eléctricas están conectadas entre sí a través de una red eléctrica nacional, que a su vez está conectada con la red europea. Estas conexiones permiten que haya intercambios de energía entre distintas regiones y países, con lo cual aumenta el grado de seguridad de los suministros de electricidad.

La red de transporte y distribución de electricidad que conectan la central de producción con el consumidor está formada por:



4.18

Da información sobre el Centro de Control Eléctrico, responsable de la operación y supervisión coordinada en tiempo real de las instalaciones de generación y transporte del sistema eléctrico español. Puede verse un video: ¡Cómo tiramos de la luz! Que explica cómo se consigue el equilibrio entre generación y consumo de energía eléctrica.

\* Redes primarias: que van desde los transformadores de la central eléctrica hasta las subestaciones de transformación. Una parte de esta red es de 380 kV, otra parte de 220 kV y una tercera de 100 a 132 kV.

\* Redes secundarias, formadas por:

- Redes que unen las subestaciones de transformación con centros de transformación de media tensión. La tensión en ellas es de decenas de kilovoltios (de 10 kV a 45 kV).

- Redes de distribución, que unen los centros de transformación con el lugar de consumo. La tensión de estas líneas es la de consumo, 380/220 V.

Las redes de transporte, que pasan generalmente por zonas rurales, son aéreas y las redes de distribución se suelen hacer subterráneas por pasar en su mayor parte por los núcleos urbanos.



### 4.3 La electricidad en las viviendas

La instalación eléctrica de una vivienda parte del **contador**, que mide el consumo de energía eléctrica de la vivienda. La energía consumida se puede calcular como el producto  $I \Delta V \Delta t$ . El voltaje de la acometida es un valor constante de 220 V por lo que se trata de controlar la intensidad de corriente y el tiempo. Un contador es un pequeño motor, cuyo disco (rotor) tiene una velocidad de giro proporcional a la intensidad de la corriente. El contador va protegido por un fusible.

En la entrada de la vivienda se encuentra el **cuadro de distribución** donde se colocan los interruptores de seguridad: interruptor diferencial y varios interruptores magnetotérmicos.

En este cuadro puede haber un Interruptor de control de potencia (ICP), también llamado limitador. Cuando se hace el contrato con la compañía eléctrica el usuario debe hacer un cálculo aproximado de la potencia de los aparatos que va a instalar (lavavajillas, lavadora, cocina, horno, estufas, etc.) con objeto de contratar una potencia adecuada de tal forma que pueda utilizar los aparatos instalados. La compañía se compromete a suministrar esa potencia. El limitador desconecta la instalación si el usuario conecta al mismo tiempo aparatos cuya potencia es mayor que la contratada. Las instalaciones eléctricas se hacen en paralelo y de esta forma los elementos del circuito no se influyen unos a otros. A medida que se conectan más elementos en paralelo la intensidad total es mayor. La potencia ( $P = I \Delta V$ ) es proporcional a la intensidad de corriente, pues  $\Delta V$  es constante, aumenta cada vez que se conecta un nuevo aparato. En definitiva el ICP controla el valor de la intensidad de la corriente total que circula y se caracteriza por el valor de la intensidad máxima de corriente que permite pasar sin desconectar el circuito.



**A.43.-** a) ¿Cuál es la potencia contratada en tu vivienda? ¿De cuántos amperios tendría que ser el limitador en tu casa?

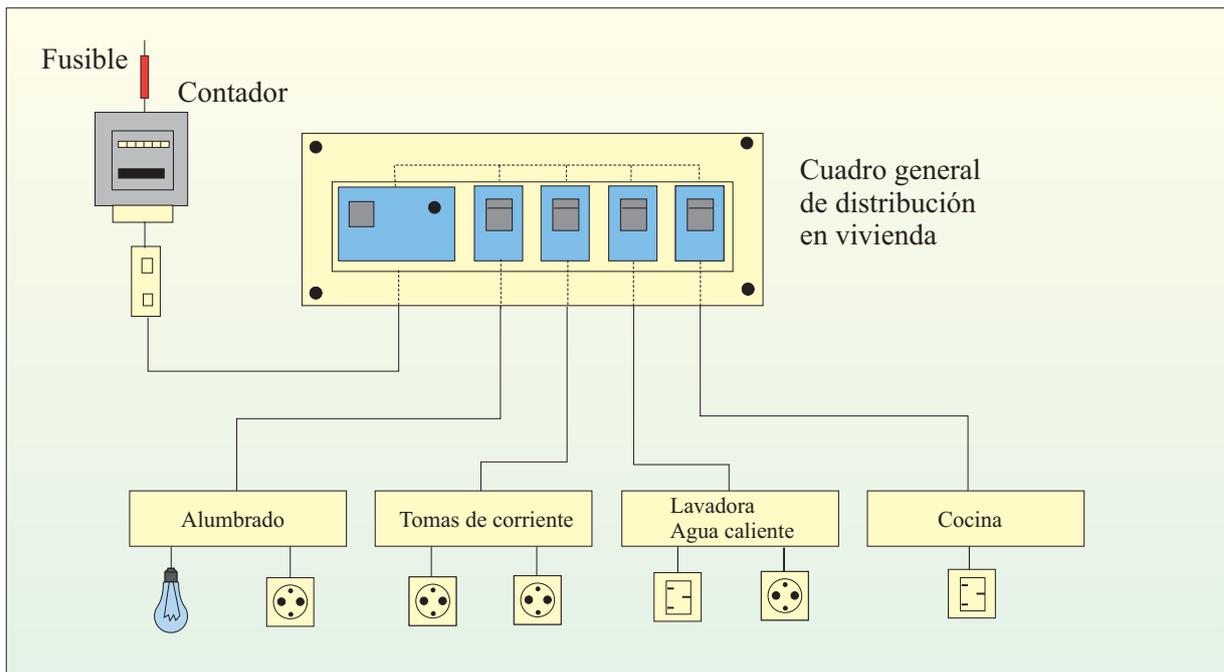
b) ¿Qué problema puede plantear utilizar mucha potencia eléctrica en una casa, si no existe ICP que pueda limitar el uso de la misma?

La instalación eléctrica de una vivienda consta de varios circuitos independientes que prestan un servicio determinado. Cada circuito está conectado a un dispositivo de seguridad llamado interruptor magnetotérmico, situado en el cuadro de distribución, que desconecta ese circuito parcial cuando por él circula una corriente de mayor intensidad

que aquella para la que está diseñado. Estos interruptores tienen un doble mecanismo para su funcionamiento, basado en el efecto Joule y en el efecto magnético respectivamente. Se trata de un electroimán capaz de atraer a una lámina metálica cuando la intensidad de corriente supera un determinado valor. La función del interruptor magnetotérmico es proteger el circuito de sobrecargas y cortocircuitos.

**A.44.-** El interruptor magnetotérmico de un circuito es de 15 A.

- ¿Se podrán conectar en ese circuito: una plancha de 750 W, un horno eléctrico de 1000 W y una estufa eléctrica de 2000 W?
- Haz un esquema del circuito y calcula la intensidad de corriente en cada aparato así como en el magnetotérmico.
- Se produce un cortocircuito en la estufa. ¿Qué pasará? Explica por qué. Indica en el esquema del apartado b) qué supondría el cortocircuito.



### Cable de tierra

Los aparatos electrodomésticos tienen tres cables de conexión. Dos de ellos son los que cierran el circuito a través del aparato, por los que pasa la corriente en circunstancias normales, y el tercero es la conexión a tierra. Esta conexión es un elemento de seguridad, pues si por avería en el interior del aparato algún cable se conecta con el chasis metálico, la corriente pasa a través de este tercer cable que va conectado a un bloque de hormigón enterrado en los cimientos del edificio. La conexión de este tercer cable con la instalación del edificio se hace también a través del enchufe. De esta forma si el usuario toca el aparato averiado aunque se cierra el circuito a través de su cuerpo y el suelo, la intensidad de corriente que pasa por él es muy pequeña, pues el valor de la resistencia de su cuerpo es mucho mayor que la del cable de conexión a tierra. Observa que los enchufes (base y clavija) que tienen toma de tierra son distintos de los de alumbrado.

El interruptor diferencial abre el circuito cuando existe una derivación de corriente a tierra. Cuando esto ocurre la intensidad de la corriente de la derivación a tierra (corriente diferencial) es la diferencia entre la intensidad de la corriente que entra a la



El cable amarillo-verde hace la conexión a tierra.

instalación y la intensidad de corriente que sale. El dispositivo es sensible a esta diferencia entre las intensidades de entrada y salida, aunque sea pequeña, y automáticamente abre el circuito. Es conveniente probar, cada cierto tiempo, el funcionamiento del interruptor diferencial; para ello basta con pulsar un botón marcado con la letra T. Al pulsarlo se provoca una corriente diferencial que hace saltar el interruptor.

La sección (grosor) de los cables de los circuitos parciales de una vivienda varía dependiendo del servicio para el que hayan sido construidos. Las secciones mínimas de los cables que se utilizan en los distintos circuitos domésticos varían desde  $6 \text{ mm}^2$  para los circuitos de la cocina eléctrica, horno, etc, hasta la mínima recomendada de  $1,5 \text{ mm}^2$  para los circuitos de alumbrado.

**A.45.-** Explica, de forma cualitativa, por qué debe estar relacionada la sección de los cables de un circuito y la potencia total de los aparatos conectados.

## Los peligros de la electricidad

Los efectos que la corriente produce en un organismo vivo dependen de la intensidad de la corriente que pasa por él (a partir de unos  $15 \text{ mA}$  ya se nota) y del tiempo que esté pasando la corriente. En menor medida depende del tipo de corriente (continua o alterna).

La resistencia que ofrece el cuerpo puede oscilar entre  $500$  y  $2000 \Omega$  según el tipo de calzado y si se está seco o mojado. Por lo tanto, si el voltaje es superior a un centenar de voltios y tenemos el cuerpo mojado, pasará por nosotros una intensidad de  $0,2 \text{ A}$  ( $200 \text{ mA}$ ) con lo que empieza a existir peligro de electrocución. Puesto que en una vivienda el voltaje es de  $220 \text{ V}$ , hay que tomarse en serio el peligro que puede plantear.

Una sacudida eléctrica puede perjudicar al organismo e incluso ser fatal. La gravedad de una sacudida depende no sólo de la intensidad de corriente y del tiempo durante el cual actúe sino que es importante la parte del cuerpo por la que circule. Una corriente que circule del dedo pulgar a otro dedo de la misma mano es mucho menos perjudicial que la que circule de una mano a la otra y pase por el corazón. Una corriente que pase por órganos vitales como el corazón y el cerebro es particularmente grave ya que interfiere en su funcionamiento.

Los primeros efectos fisiológicos que produce la corriente al paso por el organismo son contracciones involuntarias de los músculos, tanto más fuertes cuanto mayor es la intensidad. A esto es debido que en ocasiones las personas que sufren accidentes de este tipo no puedan separarse del cable o aparato causante del accidente. Esto puede ocurrir a partir de  $10\text{-}15 \text{ mA}$ .

Uno de los principales efectos perjudiciales de la corriente eléctrica es la fibrilación ventricular que consiste en contracciones no coordinadas de las fibras musculares de los ventrículos y como consecuencia la sangre oxigenada no puede ser bombeada hacia los distintos órganos del cuerpo, pudiéndose producir lesiones graves en el cerebro por falta de riego sanguíneo e incluso la muerte.

**A.46.-** a) ¿Por qué los trabajadores de las compañías eléctricas realizan determinadas tareas con calzados que tienen gruesas suelas de goma? ¿Por qué aumenta el riesgo de perecer electrocutados si tocamos un aparato eléctrico cuando estamos mojados?

b) ¿Qué interruptor debería funcionar si existiese un contacto entre un conductor y la carcasa metálica de un electrodoméstico? ¿Qué precaución debe tomarse para que el interruptor esté a punto?



1. Unas cataratas tienen un desnivel aproximado de 50 m. Suponiendo que el agua llega a la parte superior con una velocidad de 10 m/s y sale de la parte inferior con una velocidad de 4 m/s.

a) Describe los cambios observables y los cambios energéticos asociados que le ocurren al sistema Tierra-agua.

b) Calcula el aumento de temperatura máximo teórico que puede sufrir el agua.

2. En un recipiente aislado que contiene 600 g de agua a 20 °C echamos 20 g de hierro líquido que está a su temperatura de fusión.

a) Describe los sistemas que interactúan térmicamente y describe los cambios energéticos que sufren.

b) Calcula la temperatura máxima que alcanzará el agua.

c) Calcula la variación de energía interna del agua y del hierro. ¿Podemos hablar de calor?, ¿por qué? En caso afirmativo calcula  $Q$ .

3. a) Calcula el trabajo que hay que hacer para subir, con ayuda de una polea simple, una pieza de hierro de 300 kg desde el suelo hasta una altura de 5 m.

b) ¿Qué trabajo se debe realizar sobre la misma pieza de hierro si en lugar de utilizar una polea simple utilizamos un aparejo (combinación de varias poleas) que permite subirlo haciendo una fuerza de 500 N?

c) ¿Por qué se utiliza el aparejo en lugar de una polea para subir cuerpos muy pesados?

4. Una persona de 62 kg sube verticalmente agarrándose de una cuerda. Su centro de masas se eleva 4 m.

a) ¿Qué fuerza debe hacer la cuerda sobre la persona para que ésta suba con rapidez constante?

b) Calcula el aumento de energía potencial gravitatoria del sistema Tierra-persona. Calcula el trabajo realizado por la fuerza Tierra-persona.

c) ¿Realiza trabajo la fuerza cuerda-persona?, ¿es coherente ese resultado con las variaciones energéticas que hay en el proceso? Explica la respuesta comentando las variaciones energéticas y las relaciones entre ellas.

5. Un meteorito de 2 kg está a  $-200$  °C cuando se encuentra fuera de la atmósfera, el calor específico del material que lo forma es 0,1 cal/g°C, su temperatura de ebullición es 1000 °C, su calor latente de fusión es 35 cal/g y su calor latente de ebullición 275 cal/g.

a) Calcula la energía mínima necesaria para que volatilice todo el meteorito.

b) Si la velocidad del meteorito es 10 km/s cuando «impacta» con la atmósfera a unos 20 km de la superficie terrestre, ¿es posible que se volatilice antes de llegar a la superficie de la Tierra? Explica la respuesta.

c) Cuando los meteoritos superan un determinado tamaño llegan a impactar con la Tierra pues no da tiempo a que se vaporicen totalmente. Explica por qué.

6. Un tractor debe arar un campo. La fuerza media de rozamiento que se hace sobre el arado es de 4000 N mientras que la distancia recorrida por el tractor es 12000 m.

a) Explica el significado del producto de esa fuerza de rozamiento por la distancia recorrida por el tractor. ¿Se debe llamar trabajo a ese producto?, ¿por qué? Calcula la variación de energía interna del arado y de la tierra conjuntamente. ¿Se puede calcular la variación de energía interna de cada una por separado?

b) Calcula el combustible gastado por el tractor suponiendo que el rendimiento de su motor es del 8 % y que el poder calorífico del combustible es 10000 cal/g.

c) Calcula la potencia eficaz y total del tractor si tardó 50 minutos en su tarea.

7. Un arquero lanza una flecha de 200 g con rapidez de 17 m/s.

a) Calcula la energía potencial elástica del arco antes de lanzar la flecha.

b) Si consideramos el arco como un muelle que se ha alargado 25 cm, calcula la constante elástica.

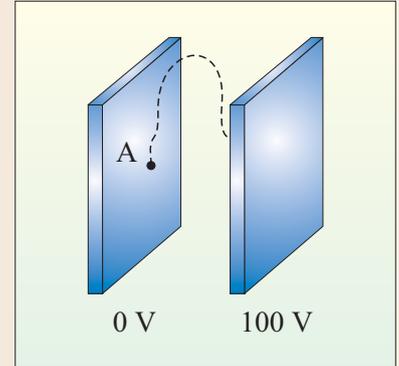
c) ¿Cambia la energía del sistema arco-flecha durante el lanzamiento de la flecha?, ¿se realiza trabajo sobre el sistema en ese proceso?, ¿cambia su energía cuando se tensa el arco?, ¿se realiza trabajo sobre el sistema?



8. a) ¿Cuál es el rendimiento máximo de una máquina térmica que funcione entre una temperatura máxima de  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la temperatura ambiente, supuesta de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

b) Quemamos  $10\text{ g}$  de un combustible cuyo poder calorífico es de  $40000\text{ J/g}$  en la máquina térmica anterior, que se puede utilizar para subir el agua de un pozo ( $g = 10\text{ N/kg}$ ). Calcula la cantidad máxima de agua que será posible subir si la profundidad del pozo es de  $40\text{ m}$ . Escribe las suposiciones que hagas para realizar el cálculo.

9. Un condensador plano está formado por dos placas metálicas planas, llamadas armaduras, colocadas paralelas entre sí. Cuando las armaduras tienen la misma carga eléctrica neta pero de diferente signo en el interior del condensador existe un campo eléctrico uniforme. Sea un condensador como el de la figura en la que la distancia entre las placas es de  $0,5\text{ mm}$  y en la que la armadura derecha se encuentra a un potencial  $100\text{ V}$  mayor que el de la armadura izquierda.



a) Calcula el valor del campo eléctrico entre las armaduras. Dibuja la dirección y sentido del campo eléctrico.

b) ¿Qué dirección y sentido tendrá la fuerza eléctrica que se ejerce sobre un electrón colocado en el punto A? Calcula el valor de esa fuerza.

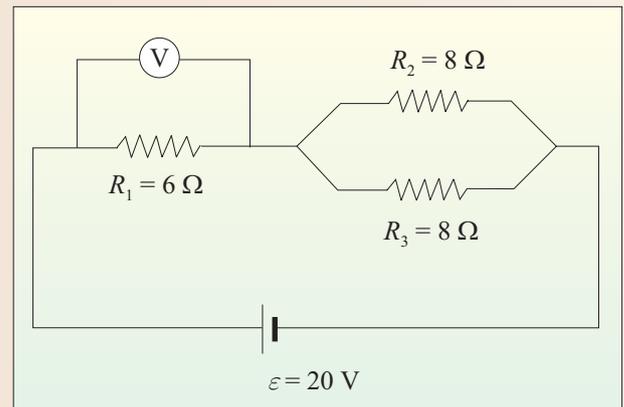
c) Calcula la energía cinética que tendrá ese electrón cuando llegue a la otra armadura. ¿Cambiaría esa energía cinética si el electrón hubiese seguido la trayectoria dibujada con línea discontinua?

10. En el circuito de la figura:

a) ¿Cuánto marcará el voltímetro?

b) Calcula la intensidad de corriente en cada resistencia.

c) Si se cambia la resistencia  $R_1$  por otra de un valor mayor, ¿el voltímetro marcará más, menos o igual? Razona la respuesta.



11. Una estufa tiene la inscripción  $220\text{ V} - 1000\text{ W}$ .

a) Escribe el significado de estos datos.

b) ¿Cuánta energía «consumirá» si la tienes 2 horas funcionando, siguiendo las indicaciones del fabricante?

c) ¿Cuánto costará tenerla conectada dos horas si el precio de  $1\text{ kW h}$  es  $0,08$  euros?

d) ¿Cuáles deberían ser las indicaciones de otra estufa para que calentara más rápidamente? (Se supone que la conectamos según indica la inscripción).

e) ¿Por cuál de las dos pasará una corriente de mayor intensidad?, ¿por qué?

12. a) ¿Cuánto tiempo tiene que estar conectado un termo eléctrico de  $220\text{ V} - 2000\text{ W}$  y de  $50\text{ L}$  de capacidad, para aumentar la temperatura del agua de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , si su rendimiento es del  $90\%$ ?

b) ¿Podrá funcionar ese termo si está conectado a un circuito protegido con un interruptor magnetotérmico de  $15\text{ A}$ ? Explica la respuesta.

13. Un motor eléctrico tiene una resistencia óhmica de  $5\text{ }\Omega$ . Lo conectamos entre dos puntos cuya diferencia de potencial es  $220\text{ V}$  y la intensidad de corriente en el motor es de  $15\text{ A}$ .

a) Calcula la fuerza contraelectromotriz del motor. ¿Qué significa ese valor?

b) Calcula la potencia útil del motor y la potencia disipada por efecto Joule. ¿Cuál es el rendimiento del motor?

14. En un transformador el voltaje en el primario es de  $10\text{ kV}$  y en el secundario es de  $220\text{ V}$ .

a) ¿Cuál es la relación de transformación? ¿Deberá estar cerca o lejos del lugar de consumo?

b) Si la potencia de la corriente transformada es  $1\text{ MW}$ , ¿puede ser la intensidad en el secundario de  $5000\text{ A}$ ?

c) Si por una de las líneas de distribución, desde el transformador a los consumidores la intensidad de corriente es de  $1000\text{ A}$ , ¿Cuál sería la potencia disipada por efecto Joule en una distancia de  $500\text{ m}$ , si se utilizara un cable de cobre de  $1\text{ cm}^2$  de sección?

## ACTIVIDADES DE RECUPERACIÓN

**A.1.-** a) En un taller quieren fundir una pieza de hierro de 2 kg que podemos considerar está a 15 °C. ¿Cuánto carbón han de quemar si suponemos que el aprovechamiento energético es del 20 %?

b) Supongamos que el hierro fundido, que se encuentra a la temperatura a la que el hierro funde, se echa en un recipiente que contiene 100 L de agua ¿cuál será la temperatura final del agua suponiendo que el sistema está aislado? ¿Cuál habrá sido la variación de energía interna del hierro en ese proceso?, ¿y la del agua?

**A.2.-** Un salón amplio contiene aproximadamente 60 m<sup>3</sup> de aire. Con una estufa de propano-butano calentamos el aire desde los 5 °C hasta la temperatura de 20° C, lo que se consigue en 20 minutos.

a) Calcula la cantidad mínima de energía necesaria sólo para calentar el aire (calor específico aire = 0,24 cal/g°C).

b) Calcula la potencia mínima que debe tener la estufa.

c) Calcula cuánto propano-butano se debió gastar en ese proceso.

d) Pesando la bombona antes y después del proceso anterior se comprobó que en realidad se habían gastado 50 g de combustible. ¿A qué puede ser debida la diferencia?

**A.3.-** Transportamos 80 m una maleta de 20 kg con rapidez constante, sosteniéndola cogida del asa y con el brazo vertical.

a) Calcula el trabajo realizado sobre la maleta.

b) Calcula la variación de energía de la maleta. ¿Son coherentes ambos resultados?

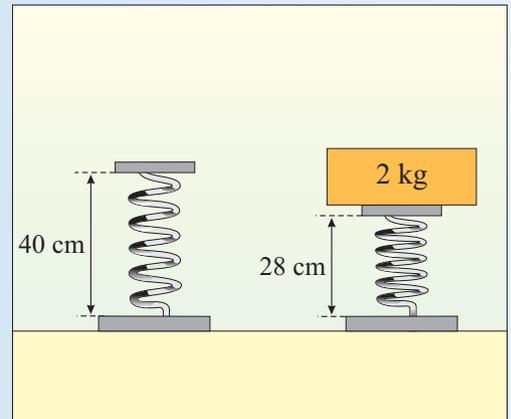
**A.4.-** En un bloque de pisos se debe subir el agua desde el aljibe que se encuentra en el sótano a 6 m por debajo del nivel del suelo hasta uno de los pisos que se encuentra 13 m por encima del suelo. Calcula la energía diaria necesaria, suponiendo un rendimiento del 80 %, si se gastan 300 L cada día y el agua sale del grifo con una velocidad de 0,5 m/s. ¿Qué pasa con la energía que se le suministra al agua?

**A.5.-** Un muelle tiene una constante elástica de 2800 N/m. Lo colocamos verticalmente con un extremo en contacto con el suelo. Le empujamos para acortarlo de forma que pasa de una longitud de 40 cm a otra de 28 cm. A continuación colocamos sobre el muelle un cuerpo de 2 kg y dejamos libre al sistema.

a) Calcula el trabajo que se debe realizar sobre el muelle para acortarlo desde los 40 a los 28 cm. ¿Cuánto habrá aumentado o disminuido la energía potencial elástica del muelle en ese proceso?

b) Calcula la máxima altura respecto al suelo a la que llegará el cuerpo de 2 kg. Recuerda que inicialmente, ese cuerpo estaba a 28 cm del suelo.

c) Calcula el trabajo que habrá realizado la fuerza que hace la Tierra sobre el cuerpo de 2 kg en ese movimiento. ¿Cuál ha sido la variación de energía potencial del sistema Tierra-cuerpo en ese proceso?



**A.6.-** Un automóvil de 1200 kg recorre un kilómetro por una carretera horizontal con rapidez constante de 40 m/s. El módulo de la fuerza de rozamiento con el aire, que se opone al avance del coche, es 1570 N.

a) Calcula el producto de la fuerza de rozamiento por el desplazamiento del coche. ¿Debemos llamar a ese producto trabajo realizado por la fuerza de rozamiento sobre el coche? Explica por qué.

b) ¿Qué mide la cantidad calculada en el apartado anterior? ¿Qué energía mecánica hay que aportar al coche durante un kilómetro para que se mantenga constante la rapidez? ¿De dónde procederá esa energía?

c) Si el rendimiento del motor es, en conjunto, del 30%, calcula la gasolina que debe quemar en un kilómetro.

**A.7.-** El hombre primitivo encendía fuego mediante rozamiento entre una varilla y un tronco de madera. Explica los cambios observables que ocurren en ese proceso y las transformaciones energéticas que los acompañan. Utiliza en tus explicaciones, al menos una vez cada una, las palabras trabajo, fuerza, energía, calor y temperatura.

**A.8.-** Una caja de 20 kg se lanza con rapidez inicial de 8 m/s, para que suba deslizando sobre una superficie inclinada  $30^\circ$  respecto a la horizontal. La longitud de la rampa es 8 m y la fuerza de rozamiento entre la caja y la rampa es 25 N.

- Calcula la velocidad con la que llega la caja al final de la rampa.
- ¿La energía mecánica de la caja es mayor al principio o al final de la rampa? Explica la respuesta.
- Se puede calcular la variación de energía interna de la rampa?, ¿y de la caja?, ¿y la suma de ambas? Explica la respuesta.

**A.9.-** a) Según el principio de conservación de la energía, ¿es posible que un vaso de agua que está sobre la mesa de la cocina se congele sólo a cambio de que aumente la energía interna del aire de la cocina?

- ¿Es posible el proceso anterior según el segundo principio de la termodinámica? Explica la respuesta.
- ¿Un motor de explosión podría aprovechar el 100 % de la energía del combustible que gasta? ¿Cumpliría ese motor el principio de conservación de la energía?, ¿y el segundo principio de la termodinámica?

**A.10.-** Los rayos suponen el paso de carga eléctrica negativa entre la Tierra y las nubes. Supongamos que el potencial eléctrico de las nubes es  $30\,000\,000\text{ V}$  inferior al potencial eléctrico en la superficie de la Tierra y que la carga de un rayo concreto es de 20 C.

a) Supuesto que el campo eléctrico es uniforme y que la distancia entre la nube y la superficie de la Tierra es de 1000 m, calcula la intensidad del campo eléctrico responsable de la descarga del rayo. Indica también cuál será la dirección y sentido de ese campo eléctrico.

b) Calcula la disminución de energía potencial eléctrica que acompaña a la descarga del rayo.

c) Si suponemos que esa carga eléctrica son electrones, ¿se habrán desplazado desde la nube a la Tierra o desde la Tierra a la nube? Explica la respuesta.



**A.11.-** a) ¿Qué significa que la fuerza electromotriz de la batería de un coche es de 12 V? ¿Cuánto habrá disminuido la energía interna de la batería cuando por ella hayan pasado 10 C?

b) Si conectamos un voltímetro entre los polos de la batería, ¿marcará 12 V, más de 12 V o menos de 12 V? Explica la respuesta.

**A.12.-** a) La inscripción de una bombilla de linterna es 0,3 A-3,5 V y la de una de un flexo es 60 W-220 V. ¿Cuál es la potencia de cada una?, ¿cuál brillará más?, ¿cuál consume más energía?

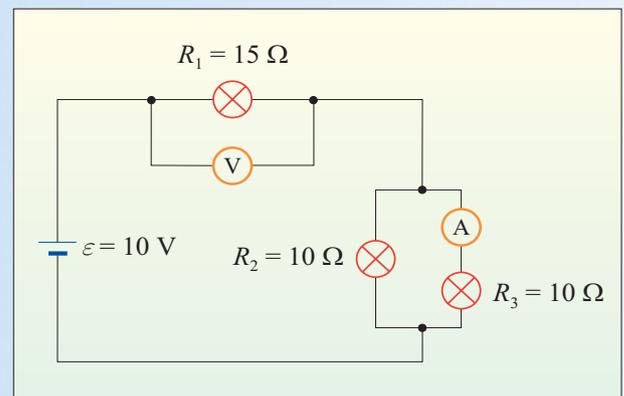
b) Si consideramos una sección transversal del filamento de cada una de las bombillas, ¿por cuál de ellos pasarán más electrones por segundo?

**A.13.-** ¿Cuánto marcarán los aparatos de medida en el siguiente esquema? ¿Son iguales las bombillas que se representan? ¿Qué bombilla brillará más?

En el esquema anterior se desconecta la bombilla 2. Indica si los aparatos de medida marcarán más, menos o igual. Explica tu respuesta.

**A.14.-** El horno eléctrico de una cocina funciona con una resistencia óhmica. La potencia del horno es de 2200 W y está diseñado para que funcione conectado a dos puntos cuya diferencia de potencial es 220 V.

- Calcula el valor de la resistencia óhmica.
- Calcula la carga eléctrica que pasará por una sección transversal de esa resistencia durante 30 minutos.
- ¿Servirá un fusible de 8 A para proteger el horno? Explica la respuesta.
- ¿Cuánto costará mantener funcionando el horno durante 2 horas si el precio del kW h es de 0,08 euros?



## 1

### LA ENERGÍA EN ESPAÑA

Sabes que uno de los problemas más importantes a las que nos enfrentamos es el gran consumo energético y la dificultad para encontrar fuentes de energía que aporten esas grandes cantidades de energía. El objetivo de este apartado es poner de manifiesto algunas características del sector energético en España.

A partir de los datos publicados por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio elabora un informe que contenga las respuestas a las siguientes preguntas:

Cantidad de energía total consumida en España. Distribución de ese consumo por sectores: Industria, Transporte y usos diversos.

Contribución de las diferentes fuentes al consumo energético en España, distinguiendo entre fuentes renovables y no renovables. Indica también aquellas fuentes cuya aportación está aumentando y aquellas cuya contribución va disminuyendo.

Respecto a la producción de electricidad deberá indicarse la producción anual y la aportación de las diferentes fuentes. Compara la potencia instalada de las diferentes fuentes con la aportación real de cada una de ellas en el conjunto anual. Conviene también que analices el consumo energético a lo largo de un día, que puedes consultar en la web de Red Eléctrica Española y la aportación en un momento dado de las distintas fuentes en la producción eléctrica.

Breve descripción de cómo se produce la corriente eléctrica en las centrales térmicas sean de carbón, de fuel oil y o de gas natural. Rendimiento de este tipo de centrales y su incidencia en el aumento de los gases de efecto invernadero.

Breve estudio de la energía eólica en España: elementos de un aerogenerador, potencia del mismo, parques eólicos, etc.

Breve estudio de la energía solar y diversas formas de aprovechamiento.

La biomasa como fuente de energía. Aportación a la producción energética en España.

Juicio personal sobre el futuro del sector energético.



4.19

En esta dirección puedes encontrar la documentación necesaria para conocer los datos sobre la energía en España en diferentes años.



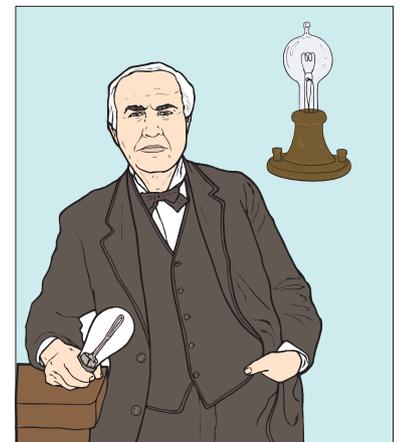
Aerogenerador

## 2

### LOS DISPOSITIVOS DE CONSUMO

La primera fuente de luz basada en la electricidad fue la lámpara de arco. Se basaba en la luz emitida cuando una chispa eléctrica saltaba entre dos electrodos de carbono. Tenía graves problemas, el principal que los electrodos de carbono se consumían y había que cambiarlos con frecuencia.

**Las lámparas de incandescencia** se basan en el efecto Joule: constan de un filamento que alcanza una temperatura muy elevada produciéndose emisión de luz y calor. El principal problema que plantean es que a la temperatura que funcionan el metal se quema con el oxígeno del aire. Para evitarlo se encerraba el filamento en el interior de una ampolla de vidrio, dentro de la cual se hacía el vacío. Las primeras lámparas de este tipo tenían una vida muy corta.



Edison

Alrededor de 1880 Swan y Edison consiguieron desarrollar lámparas de incandescencia eficaces.

El filamento de las lámparas de incandescencia actuales es de wolframio y en el interior de la ampolla de vidrio se introduce un gas inerte (argón, criptón). El rendimiento de las lámparas incandescentes es bajo en comparación con otro tipo de lámparas, es decir, la relación entre la energía radiante emitida como luz visible (flujo luminoso) y la energía eléctrica consumida es baja. Gran parte de la energía eléctrica se desaprovecha aumentando la temperatura del medio ambiente, por lo que el costo de funcionamiento de estas bombillas es elevado y su vida es corta (1000 horas). Estas lámparas tienen, sin embargo, la ventaja de que son baratas, encienden instantáneamente y son fáciles de instalar.

Las **halógenas** son también lámparas de incandescencia. En el interior de una ampolla se introduce yodo o bromo, que reaccionan con el wolframio del filamento formándose bromuro o yoduro de wolframio, el cual se disocia desprendiendo una luz característica. Su rendimiento es un poco mayor que el de las bombillas normales, y su duración es el doble aproximadamente, pero su costo es superior. Las lámparas halógenas que se suelen utilizar en las instalaciones domésticas precisan de un transformador pues funcionan a un voltaje de 9 o 12 V.

Otro tipo de lámparas son las **lámparas de descarga en gas**. Las más utilizadas son los llamados tubos fluorescentes. No se basan en el efecto Joule sino en hacer circular un chorro de electrones a través de un gas que hay en el interior del tubo, normalmente vapor de mercurio.

En un extremo del tubo se calienta un filamento metálico que emite electrones. Estos chocan con átomos de mercurio que hay en el interior del tubo. Los átomos de mercurio emiten radiación que choca con las paredes del tubo. Las paredes están pintadas con sustancias fluorescentes que emiten luz visible cuando les llega la radiación. Las lámparas fluorescentes difieren de las incandescentes en que necesitan dispositivos auxiliares en su circuito de alimentación por lo que su costo es mayor, pero a cambio su rendimiento es más alto y tienen un mayor período de vida. El encendido no es instantáneo.

Existen en el mercado lámparas denominadas de bajo consumo que funcionan como los fluorescentes, aunque varían los dispositivos del circuito de encendido, que ocupan un menor espacio. Tienen la ventaja de que se pueden conectar directamente mediante un portalámparas igual que las de incandescencia. Su rendimiento es mucho mayor que el de las de incandescencia y su duración es casi 10 veces superior, pero su costo es mucho mayor. En la tabla se dan las equivalencias de los valores de potencia de las lámparas de bajo consumo y las de incandescencia.



Bajo consumo	Incandescencia
9 W	40 W
11 W	60 W
15 W	75 W
20 W	100 W
23 W	120 W

**A.1.-** a) ¿Cómo definirías el rendimiento energético de una lámpara?  
 b) Calcula el ahorro energético y económico que supone utilizar una lámpara de bajo consumo de 23 W, en vez de su correspondiente de incandescencia, durante un mes si está encendida 5 horas diarias.

Hay muchos otros tipos de lámparas de descarga en gases que se utilizan en iluminación de vías públicas y exteriores. Algunas de ellas tienen un alto rendimiento, como las lámparas de sodio, pero desvirtúan los colores y tardan varios minutos en encender.

## PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNAS SUSTANCIAS

Sustancia	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Punto de fusión °C	Punto de ebullición °C	Calor específico cal/g°C	Calor de fusión cal/g	Calor de ebullición cal/g
Agua sólida	0,92	0		0,50	80	
Agua líquida	1,00	0	100	1,00		540
Agua gas			100	0,45		
Aceite*	0,91	-6	235	0,60		
acetona	0,79	-95,4	56,5	0,52	23	126
Alcohol	0,79	-117,3	78,4	0,58	25	204
Aluminio	2,70	660	2400	0,22	95	2124
Calcio	1,53	850	1494	0,16	52	897
Cinc	7,14	419	907	0,09	27	422
Cobre	8,93	1083	2600	0,09	49	1147
Éter etílico	0,72	-116,2	34,6	0,56	23	92
Gasolina	0,73	-90,6	98	0,54	34	76
Glicerina**	1,26	20,9		0,58	48	
Hierro	7,87	1539	2740	0,11	66	1505
Mercurio	13,55	-38,9	357	0,03	3	71
Dinitrógeno	0,00125	-210	-196	0,25	6	48
Dioxígeno	0,00143	-219	-183	0,22	3	52
Oro	19,28	1064	2657	0,03	15	394
Plata	10,50	962	2157	0,06	25	566
Plomo	11,34	328	1750	0,03	6	207
Potasio	0,86	63	760	0,18	14	474
Sodio	0,97	98	887	0,30	27	926
Vidrio*	2,50			0,20		

\* El aceite y el vidrio no son sustancias puras. Los valores recogidos en la tabla son de algún aceite y de algún vidrio particular

\*\* La glicerina se descompone a los 290 °C antes de llegar a hervir. Por eso no se puede hablar de punto de ebullición ni de calor latente de ebullición.

## PODERES CALORÍFICOS DE ALGUNAS SUSTANCIAS (kcal/kg)

combustibles sólidos		combustibles líquidos		combustibles gaseosos	
Antracita	7800	Gasolina	10220	Gas ciudad	5550
Lignitos	3940	Gasóleo Diesel	10000	Metano	12060
Hulla grasa	6500	Fueloil	10120	Propano-butano	11000
Hulla magra	7500	Alcohol del 95 %	6050	Acetileno	11500
Turba	3200			Hidrógeno	28700
Madera pino seca	3500				
Paja	3230				

## PÁGINAS WEB

---

- 1.1 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/gaslaw/boyles\\_law\\_graph\\_new.swf](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/gaslaw/boyles_law_graph_new.swf)
- 1.2 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/gaslaw/charles\\_law.html](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/gaslaw/charles_law.html)
- 1.3 [http://www.cnice.mec.es/pamc/pamc\\_2003/2003\\_ley\\_gases/](http://www.cnice.mec.es/pamc/pamc_2003/2003_ley_gases/)
- 1.4 <http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/Mendeleiev/Portada.htm>
- 1.5 <http://www.educaplus.org/sp2002/index1.html>
- 1.6 <http://personales.ya.com/casanchi/fis/espectros/espectros01.htm#2>
- 1.7 <http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/ruther14.swf>
- 1.8 <http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/linesp16.swf>
- 1.9 <http://www.educared.net/aprende/anavegar3/premiados/ganadores/d/456/>
- 1.10 <http://www.dlt.ncssm.edu/TIGER/Flash/phase/ElectronOrbits.html>
- 1.11 <http://www.chemcollective.org/applets/pertable.php>
- 1.12 <http://tablaperiodica.educaplus.org/>
- 1.13 <http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/Cuestionarios/enlace3.htm>
- 1.14 [http://www.dlt.ncssm.edu/flashdownloads/soles/Dissolving\\_NaCl-Electrolyte\\_Probe.exe](http://www.dlt.ncssm.edu/flashdownloads/soles/Dissolving_NaCl-Electrolyte_Probe.exe)  
<http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/molvie1.swf>  
<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/solutionSalt.html>
- 1.15 <http://www.hschockor.de/nacl.html>
- 1.16 <http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/index4.html>
- 1.17 <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/concurso2006/ver/34/index.html>
  
- 2.1 <http://www.ibercajalav.net/>
- 2.2 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/solid\\_atoms.swf](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/solid_atoms.swf)
- 2.3 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/gasPhase\\_v04.swf](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/gasPhase_v04.swf)
- 2.4 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/stoic\\_select\\_both.swf](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/stoic_select_both.swf)
- 2.5 <http://es.youtube.com/watch?v=zQmirgNogdl>
- 2.6 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/heat\\_soln.swf](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/heat_soln.swf)  
<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/calorimetry.swf>
- 2.7 <http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/activa2.swf>
- 2.8 <http://www.alonsoformula.com/>  
<http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/Formulacion/index.htm>
- 2.9 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/acidbasepH/ph\\_measure.swf](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/acidbasepH/ph_measure.swf)

- 2.10 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/acid\\_base.swf](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/acid_base.swf)
- 2.11 <http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/redox/aqueous.swf>
- 2.12 <http://www.oviedo.es/personales/carbon/nanotubos/nanotubos.htm>
- 2.13 <http://www.deciencias.net/proyectos/quimica/index.htm>
- 2.14 <http://www.alonsoformula.com/organica/>
- 2.15 <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/EQUIMICA/document/formhidrocarb/appletform.htm>
- 2.16 [http://www.dlt.ncssm.edu/TIGER/Flash/kinetics/Catalyst\\_2.html](http://www.dlt.ncssm.edu/TIGER/Flash/kinetics/Catalyst_2.html)
- 2.17 <http://www.imp.mx/petroleo/origen.htm>
- 2.18 <http://www.educaplus.org/moleculas3d/index.html>
- 
- 3.1 <http://www.iesaguilarycano.com/dpto/fyq/cine4/Index.htm>
- 3.2 [http://www.educaplus.org/movi/3\\_2applet.html](http://www.educaplus.org/movi/3_2applet.html)  
<http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/Cinematica/menu.htm>  
[http://phet.colorado.edu/web-pages/simulations-base\\_es.html](http://phet.colorado.edu/web-pages/simulations-base_es.html)
- 3.3 <http://www.iesaguilarycano.com/dpto/fyq/clubre.html>
- 3.4 <http://www.educa.aragob.es/iescarin/depart/fq/fis/tiempodereaccion.htm>  
[http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/applets/Hwang/ntnujava/Reaction/reactionTime\\_s.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/applets/Hwang/ntnujava/Reaction/reactionTime_s.htm)
- 3.5 <http://www.ibercajalav.net/>
- 3.6 <http://www.ibercajalav.net/>
- 3.7 <http://www.ibercajalav.net/>
- 3.8 [http://www.educaplus.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=33&Itemid=33](http://www.educaplus.org/index.php?option=com_content&task=view&id=33&Itemid=33)  
<http://www.schulphysik.de/suren/Applets.html>
- 3.9 <http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/ThrowABall.htm>  
<http://www.meet-physics.net/David-Harrison/castellano/ClassMechanics/Projectile/Projectile.html>
- 3.10 <http://www.meet-physics.net/David-Harrison/castellano/ClassMechanics/TwoBallsGravity/TwoBallsGravity.html>
- 3.11 <http://jersey.uoregon.edu/newCannon/>
- 3.12 <http://www.iesaguilarycano.com/dpto/fyq/din/D0.htm>  
<http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/Dinamica/index.htm>
- 3.13 <http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/Incline.htm>  
<http://www.fislab.net/>
- 3.14 <http://www.ibercajalav.net>
- 3.15 <http://zebu.uoregon.edu/nsf/mo.html>  
[http://www.walter-fendt.de/ph14s/collision\\_s.htm](http://www.walter-fendt.de/ph14s/collision_s.htm)

- 3.16 [http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Forces\\_in\\_1\\_Dimension](http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Forces_in_1_Dimension)
- 3.17 [http://www.educaplus.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=84&Itemid=33](http://www.educaplus.org/index.php?option=com_content&task=view&id=84&Itemid=33)
- 3.18 <http://www.meet-physics.net/David-Harrison/castellano/ClassMechanics/VertCircular/VertCircular.html>
- 3.19 <http://www.meet-physics.net/David-Harrison/castellano/ClassMechanics/PendulumForces/PendulumForces.html>
- 3.20 <http://www.ibercajalav.net/recursos.php?codopcion=1181&codopcion2=2495>
- 
- 4-1 [http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/heat\\_metal\\_ice.swf](http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/heat_metal_ice.swf)
- 4.2 <http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/thermoEquiv.swf>
- 4.3 [http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Energy\\_Skate\\_Park](http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Energy_Skate_Park)
- 4.4 <http://www.explorelearning.com/index.cfm?method=cResource.dspView&ResourceID=416>
- 4.5 <http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/Work.htm>
- 4.6 [http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=The\\_Ramp](http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=The_Ramp)
- 4.7 <http://www.k-wz.de/sp/overviewsp.html>
- 4.8 <http://www.deciencias.net/proyectos/fislab/c-applets.htm>
- 4.9 [http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Electric\\_Field\\_of\\_Dreams](http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Electric_Field_of_Dreams)
- 4.10 [http://phet.colorado.edu/web-pages/simulations-base\\_es.html](http://phet.colorado.edu/web-pages/simulations-base_es.html)
- 4.11 [http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=BatteryResistor\\_Circuit](http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=BatteryResistor_Circuit)
- 4.12 <http://phet.colorado.edu/sims/veqir/veqir.swf>
- 4.13 <http://phet.colorado.edu/sims/resistance-in-a-wire/resistance-in-a-wire.swf>
- 4.14 [http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Circuit\\_Construction\\_Kit\\_DC\\_Only](http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Circuit_Construction_Kit_DC_Only)
- 4.15 <http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/Circuitos/Portada.htm>
- 4.16 <http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Generator>
- 4.17 <https://demanda.ree.es/demanda.html>
- 4.18 <http://www.ree.es/educacion/cecoel.asp>
- 4.19 <http://www.mityc.es/Balances/Seccion/Publicaciones/PublicacionesBalances/>

<b>Capítulo 1: Átomos, moléculas, iones</b> .....	4
<b>Unidad 1. La teoría atómica</b> .....	6
1. Fenómenos químicos .....	7
2. Leyes de los gases .....	9
2.1 Ley de Boyle-Mariotte .....	9
2.2 Ley de Gay-Lussac .....	10
2.3 Ecuación general de los gases .....	11
2.4 Interpretación de las leyes de los gases con la teoría cinético-molecular .....	12
3. Etapa inicial de la teoría atómica .....	13
3.1 Leyes de las reacciones químicas .....	13
3.2 Teoría atómica de Dalton .....	17
3.3 La hipótesis de Avogadro modifica algunas ideas de la teoría de Dalton .....	20
4. La tabla periódica de los elementos .....	24
5. Del átomo de Dalton al átomo actual .....	28
5.1 Modelo atómico de Thomson .....	30
5.2 Modelo atómico de Rutherford .....	31
5.3 El modelo de Bohr .....	33
5.4 Revisión global sobre la estructura del átomo .....	34
<b>Unidad 2. La teoría del enlace químico</b> .....	38
1. El enlace: un modelo que permite explicar las propiedades de las sustancias .....	39
2. Con el enlace metálico se explican las propiedades de los metales .....	40
3. La teoría del enlace iónico puede explicar las propiedades de los electrolitos .....	41
3.1 Descripción e interpretación de una electrólisis .....	42
3.2 Estructura de los electrolitos. El enlace iónico .....	44
4. El enlace covalente permite explicar las propiedades de los no electrolitos .....	47
4.1 El enlace covalente .....	47
4.2 Enlace covalente dativo .....	48
4.3 Enlace covalente polar y apolar .....	49
4.4 Estructura de las sustancias con enlace covalente .....	50
5. Formulación de compuestos binarios .....	53
5.1 Hidruros .....	53
5.2 Óxidos .....	54
5.3 Peróxidos .....	55
5.4 Compuestos binarios de no metal con metal .....	55
5.5 Compuestos binarios de no metal con no metal .....	56
Autoevaluación .....	57
Actividades de recuperación .....	59
Actividades complementarias	
1. Ley de Dalton de las proporciones múltiples .....	61
2. Medida de masas atómicas y moleculares relativas .....	61
3. Número másico y masa atómica relativa .....	63

<b>Capítulo 2: Procesos químicos</b> .....	64
<b>Unidad 1. La reacción química</b> .....	66
1. El concepto de mol .....	67
1.1 La ecuación general de los gases perfectos .....	70
1.2 El mol y la concentración de las disoluciones: molaridad .....	71
2. Composición centesimal. Fórmulas empírica y molecular .....	73
3. Cálculos estequiométricos .....	75
4. Velocidad de las reacciones químicas .....	81
5. Energía de las reacciones químicas .....	83
6. El agua y las disoluciones iónicas .....	86
6.1 Disoluciones iónicas .....	86
6.2 Reacciones de precipitación .....	87
7. Ácidos y bases .....	88
7.1 Teoría de Arrhenius .....	89
7.2 Comportamiento del agua pura .....	90
7.3 Formulación de ácidos, aniones, hidróxidos y sales .....	91
7.4 Grado de acidez. Concepto de pH .....	94
7.5 Reacciones ácido-base .....	96
7.6 Valoraciones ácido-base .....	97
8. El ácido sulfúrico .....	99
9. Reacciones de oxidación-reducción .....	103
10. Reacciones de combustión .....	106
<b>Unidad 2. La química del carbono</b> .....	108
1. La química orgánica .....	109
2. Los enlaces del carbono .....	110
2.1 Fórmulas de los compuestos del carbono .....	111
3. Isomería .....	112
4. Grupos funcionales. Isomería de función .....	113
4.1 Ideas básicas de nomenclatura en química orgánica .....	113
5. Hidrocarburos .....	114
5.1 Hidrocarburos saturados, alcanos o parafinas .....	114
5.2 Hidrocarburos insaturados .....	116
5.3 Hidrocarburos aromáticos .....	118
5.4 Fuentes naturales de hidrocarburos .....	118
6. Series homólogas. Alcoholes .....	122
7. Otras funciones oxigenadas .....	125
7.1 Aldehídos y cetonas .....	125
7.2 Ácidos orgánicos .....	126
Autoevaluación .....	128
Actividades de recuperación .....	130
Actividades complementarias	
1. El amoníaco .....	132
2. Otros grupos funcionales .....	134
3. Entrevista a Severo Ochoa .....	137

<b>Capítulo 3: Estudio del movimiento</b> .....	138
<b>Unidad 1. Cinemática</b> .....	140
1. El movimiento .....	141
1.1 Magnitudes necesarias para describir el movimiento .....	141
1.2 Ecuaciones del movimiento .....	146
2. Magnitudes vectoriales .....	150
2.1 La velocidad es una magnitud vectorial .....	150
2.2 La aceleración también es vectorial .....	150
3. El movimiento circular uniforme .....	153
4. Composición de movimientos .....	156
<b>Unidad 2. Dinámica</b> .....	160
1. El concepto fuerza .....	161
1.1 Tercera ley de la dinámica .....	161
1.2 Primera ley de la dinámica .....	163
1.3 La fuerza, magnitud vectorial .....	163
2. Segunda ley de la dinámica .....	167
2.1 Momento lineal (cantidad de movimiento) .....	167
2.2 Impulso y cambio de momento lineal .....	168
2.3 Segunda ley en función de la aceleración .....	169
2.4 Conservación del momento lineal .....	171
3. Fuerzas de rozamiento .....	174
3.1 Rozamiento por deslizamiento .....	174
3.2 Rozamiento en el interior de fluidos .....	177
4. Fuerzas elásticas .....	179
5. Dinámica del movimiento circular .....	180
Autoevaluación .....	184
Actividades de recuperación .....	186
Actividades complementarias	
1. Introducción al cálculo vectorial .....	188
1.1 Nociones elementales de trigonometría .....	188
1.2 Algunas operaciones con vectores .....	188
2. El largo camino hacia el principio de inercia .....	192
2.1 La concepción aristotélica del movimiento .....	192
2.2 Las críticas a la doctrina de Aristóteles .....	193
2.3 El principio de inercia en el siglo XVII .....	194
3. Comprobación experimental de la segunda ley .....	195

<b>Capítulo 4: Transferencias de energía</b> .....	196
<b>Unidad 1. La energía</b> .....	198
1. La energía y sus transferencias .....	199
1.1 Transferencias de energía: calor .....	201
1.2 Transferencias de energía: trabajo .....	203
1.3 La potencia .....	205
1.4 Factores que contribuyeron a la formación del concepto energía .....	206
2. Cálculo del trabajo .....	208
2.1 Cálculo del trabajo cuando desplazamiento y fuerza no tienen la misma dirección .....	208
2.2 Fuerzas de trabajo nulo .....	209
2.3 Trabajo asociado a las fuerzas de rozamiento .....	210
3. Trabajo y variación de energía .....	210
3.1 Teorema de las fuerzas vivas .....	211
3.2 Trabajo y variación de energía potencial gravitatoria .....	213
3.3 Trabajo y energía potencial elástica .....	215
4. Principio de conservación de la energía .....	217
4.1 ¿Cómo se llegó al principio de conservación de la energía? .....	217
4.2 Primer principio de la termodinámica .....	219
5. Segundo principio de la termodinámica .....	222
6. Introducción a la entropía .....	224
<b>Unidad 2. La corriente eléctrica</b> .....	226
1. Generación de corriente eléctrica .....	227
1.1 Generación de corrientes transitorias .....	227
1.2 Generación de corrientes permanentes: la pila y la dinamo .....	228
1.3 Modelo teórico para interpretar la corriente eléctrica .....	230
2. El campo eléctrico .....	231
2.1 Tratamiento energético del campo eléctrico .....	233
3. Descripción de la corriente eléctrica .....	236
3.1 Fuerza electromotriz y diferencia de potencial .....	238
3.2 Intensidad de corriente .....	239
3.3 Ley de Ohm. Resistencia .....	240
3.4 Conservación de la energía en los circuitos .....	245
3.5 Energía y potencia asociada a la corriente eléctrica .....	247
3.6 Ecuación del circuito generalizada .....	249
4. La industria eléctrica .....	253
4.1 La producción de corriente eléctrica .....	253
4.2 Distribución de corriente eléctrica .....	254
4.3 La electricidad en las viviendas .....	256
Autoevaluación .....	259
Actividades de recuperación .....	261
Actividades complementarias	
1. La energía en España .....	263
2. Los dispositivos de consumo .....	263