



Tema 1. Estructura de la materia

Contenidos pág. 1

Tema 2. Reacciones químicas

Contenidos pág. 45

Tema 3. Movimientos

Contenidos pág. 69

Tema 4. Fuerzas

Contenidos pág. 109

Tema 5. Fluidos

Contenidos pág. 151

Tema 6. Energía

Contenidos pág. 175

Tema 1. Estructura de la materia

Partiendo del modelo de partículas de la materia y del análisis de una gran cantidad de hechos experimentales, **Dalton** propuso en 1803 su **teoría atómica**, que recoge el concepto de átomo, ya planteado por los griegos en la antigüedad sin base científica, por contraposición a los cuatro constituyentes fundamentales de la materia de la tradición alquímica medieval: aire, agua, tierra y fuego.

Para él, la unidad más pequeña de materia es el **átomo**, partícula indivisible característica de cada sustancia simple, formada por uno o varios átomos iguales.

Actualmente se conocen más de 100 tipos de átomos diferentes. Cada uno de esos tipos de átomo recibe el nombre de **elemento químico**.



ELEMENTS			
Hydrogen	1	Stontian	46
Nitrogen	5	Barytes	68
Carbon	5	Iron	50
Oxygen	7	Zinc	56
Phosphorus	9	Copper	56
Sulphur	13	Lead	90
Magnesia	20	Silver	190
Limé	24	Gold	190
Soda	28	Platina	190
Potash	42	Mercury	167

Fíjate en la imagen en la representación que Dalton hizo de los átomos, con una base circular, del tipo que ya has utilizado. En algunos casos, dentro del círculo hay una letra, inicial del nombre en inglés.

La representación actual es mediante letras, una o dos, de origen latino en algunos casos y en honor a científicos importantes o lugares en otros.

Principios de la teoría atómica de Dalton

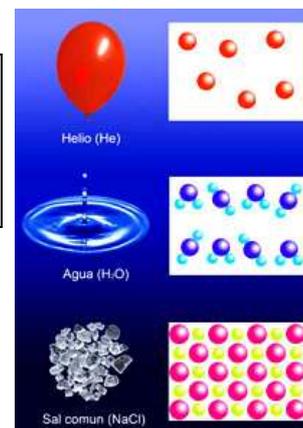
1. La materia está formada por átomos.
2. Los átomos son indivisibles.
3. Todos los átomos de una sustancia simple son iguales entre sí.
4. En las sustancias compuestas hay átomos diferentes.

Cuando en un recipiente hay una sola sustancia, se trata de una **sustancia pura**, y si hay más de una se trata de una **mezcla de sustancias**.

Si se pueden diferenciar los componentes de la mezcla, se trata de una **mezcla heterogénea**, y en caso contrario, de una **mezcla homogénea** (disolución).

Pero ¿cómo son las partículas que forman una sustancia pura? Por ejemplo, las partículas de agua son distintas de las de helio y de las de sal común, ya que las tres sustancias tienen propiedades muy diferentes.

¿En qué se basa esa diferencia? La respuesta es que están formadas por una combinación diferente de átomos: en el agua hay **moléculas** formadas por dos átomos de hidrógeno unidos a uno de oxígeno, y su estado a temperatura ambiente es el líquido. En el helio hay átomos libres, y



su estado físico es el gaseoso, mientras que la sal común no forma moléculas, sino que da lugar a una estructura con "átomos" de sodio y de cloro que no tiene más límite que el tamaño del trozo de sal: es lo que se conoce como una **estructura gigante**, siendo sólido el estado físico.

El tipo de partícula a que da lugar la unión de átomos depende precisamente de cuáles son esos átomos y de qué forma se unen, es decir, del **enlace químico** producido entre ellos.

Sustancias simples y compuestas

Punto de vista experimental: si se pueden descomponer en otras más sencillas, son compuestas, y simples en caso contrario.

Escala de partículas: si los átomos que las forman son iguales, se trata de una sustancia simple, y si hay átomos distintos, compuesta.

1. La estructura del átomo

A finales del siglo XIX se llegó a la conclusión de que el modelo de Dalton no era correcto, ya que se descubrieron partículas más pequeñas que el átomo más pequeño conocido, el de hidrógeno. Como se podían obtener a partir de átomos de diferentes elementos, se consideró que formaban parte de ellos y se les llamó **partículas fundamentales**.

Ya conoces las tres: el **electrón** (1897) y el **protón** (1918), descubiertas al estudiar las interacciones eléctricas, y el **neutrón** (1932), que resultó más difícil de descubrir, ya que no tiene propiedades eléctricas. En junio de 2012 parece ser que se ha descubierto el bosón de Higgs, que permite explicar el origen de la masa de la materia.

En la tabla siguiente tienes las características más importantes de las tres partículas fundamentales. Fíjate en que la carga de protón y electrón es de la misma magnitud pero sentidos contrarios, mientras que el neutrón carece de carga. En cuanto a las masas, las de protón y neutrón son muy parecidas, mientras que la del electrón es muy pequeña en comparación (casi 2000 veces menor).

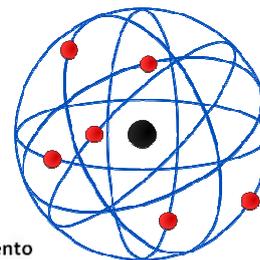
Nombre	Símbolo	Carga/C	Carga relativa	Masa en reposo/kg	Masa en reposo/u	Masa en reposo aproximada/u
Electrón	e ⁻	-1,60 10 ⁻¹⁹	-1	9,109 10 ⁻³¹	0,0005	0
Protón	p ⁺	1,60 10 ⁻¹⁹	1	1,672 10 ⁻²⁷	1,0066	1
Neutrón	n	0	0	1,675 10 ⁻²⁷	1,0084	1

Modelo de Rutherford

En 1910 **Rutherford** realizó un experimento que le obligó a proponer que en los átomos había un núcleo muy pequeño con carga positiva: bombardeó una lámina de oro con partículas positivas a muy alta velocidad, y observó que aunque la mayoría pasaban a través de la lámina sin desviarse, algunas se desviaban y unas pocas incluso llegaban a retroceder.

Como puedes ver en el vídeo, explicó este hecho suponiendo que en el átomo había una zona central, muy pequeña y con carga positiva, llamada núcleo y que a su alrededor se encontraban los electrones, con carga negativa.

Es decir, los átomos son eléctricamente neutros, con los protones en el núcleo y los electrones en la corteza, girando en órbitas (**modelo planetario**).



Cuando se descubrieron los neutrones unos años después, se les asignó su lugar en el núcleo atómico.

Forma de representar un átomo de un elemento

¿Dónde se sitúan las partículas fundamentales?

Protones y neutrones: en el **núcleo**.
Electrones: en la **corteza electrónica**.



- X Símbolo del elemento
- A Número másico ($A = p + n$)
- Z Número atómico ($Z = p$)

1.1 Construyendo átomos

Para especificar las partículas que constituyen un átomo, se indica su símbolo X y dos números, tal como ves en la imagen: en la parte inferior, el número atómico Z, que indica el número de protones, y en la parte superior el número másico A, que indica el número de protones más el de neutrones.

Ejemplos

Un átomo de litio tiene 3 protones, 4 neutrones y 3 electrones. Por tanto, $X=\text{Li}$, $Z=3$ y $A=7$.

Un átomo de cloro tiene 17 protones, 20 neutrones y 17 electrones. Por tanto, $X=\text{Cl}$, $Z=17$ y $A=37$.

También puedes saber el número de partículas de cada tipo si te indican los valores de X, Z y A, pero eso aprenderás a hacerlo más adelante.

Isótopos

Se trata de átomos de un mismo elemento, por tener el **mismo número de protones** en el núcleo, pero que tienen **diferente número de neutrones**, por lo que la masa del átomo es diferente.

La mayoría de los elementos tiene varios isótopos. Por ejemplo, el cloro tiene dos isótopos: el cloro 35, que tiene 18 neutrones y una abundancia del 77,50 %, y el cloro 37, con 20 neutrones y una abundancia del 22,50 %. Cuando se tiene una muestra de cloro puro, ése es el porcentaje que hay de cada uno de los dos isótopos.

La partícula que caracteriza a los elementos químicos

Los átomos de un elemento quedan caracterizados por el número de **protones** que tienen: como ya sabes, hay átomos de un mismo elemento con diferente número de electrones (iones) o de neutrones (isótopos).

1.2 Estructuras electrónicas

El modelo de Bohr

Si te has fijado en el constructor de átomos, los electrones se mueven en **órbitas** alrededor del núcleo, pero no todos giran a la misma distancia del núcleo: hay diferentes órbitas, de forma que

en la primera se pueden situar hasta 2 electrones, 8 en la segunda y en la tercera, 18 en la cuarta y la quinta y 32 en la sexta y en la séptima.

En realidad, las órbitas segunda y tercera están formadas a su vez por dos, con hasta 2 y 6 electrones, respectivamente; la cuarta y quinta, con hasta 18 electrones, por tres órbitas con 2, 6 y 10 electrones, y la sexta y la séptima, con hasta 32 electrones, por otras cuatro órbitas, con hasta 2, 6, 10 y 14 electrones.

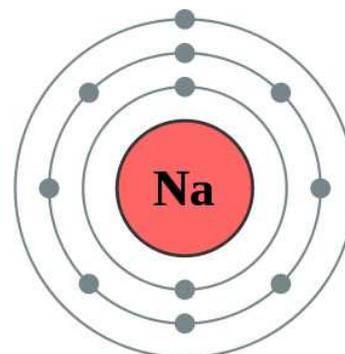
Por esa razón, se suele hablar de **capas**, de primera a séptima, que contienen entre una y cuatro órbitas (subcapas) cada una.

Este es el fundamento del modelo de Bohr: la existencia de capas y subcapas en las que se sitúan los electrones que hay en el átomo, comenzando por las de menor energía, ya que llevan a la situación energéticamente más estable para los átomos.

Por ejemplo, el sodio tiene 11 electrones, y su estructura electrónica la indicarás como: Na: 2, 8, 1

Fíjate en que detallas el número de electrones en cada capa, separados por comas. En la imagen puedes ver la representación gráfica de esta estructura.

Si vuelves al simulador del constructor de átomos, podrás observar cómo se van llenando las capas y escribir directamente las estructuras electrónicas de los átomos.



Electrones y capas electrónicas

1ª: 2 electrones (2).

2ª y 3ª: 8 electrones (2 + 6).

4ª y 5ª: 18 electrones (2 + 6 + 10).

6ª y 7ª: 32 electrones (2 + 6 + 10 + 14).

1.3 Iones

La mayoría de los átomos tienen tendencia a unirse con otros átomos, dando lugar a sustancias poliatómicas, simples si los átomos son iguales (O_2) o compuestas si hay átomos diferentes (CO_2 , NaCl). Para ello, con frecuencia ganan o pierden electrones, dando lugar a **iones**.

Cuando el sodio pierde un electrón, da lugar a un ión Na^+ : fíjate en que el sodio tiene 11 protones y 11 electrones, con lo que su carga es nula, pero al perder un electrón, que tiene una carga negativa, la carga neta que queda es +1. Los iones positivos reciben el nombre de **cationes**.

Y cuando el cloro (17 protones + y 17 electrones -) gana un electrón, adquiere una carga negativa, dando lugar a Cl^- , de forma que estos iones Cl^- pueden interactuar eléctricamente con los iones Na^+ , formándose la sustancia NaCl, llamada cloruro de sodio o sal común. Los iones negativos se llaman **aniones**.



Fíjate en que **los electrones son las partículas fundamentales que salen o entran de los átomos**, debido a que están en la corteza electrónica, y es más fácil que salgan de ahí que los protones del núcleo. Además, **los electrones que salen son los situados en la capa más externa**, menos atraídos por el núcleo al estar más alejados de él.

2. La tabla periódica

Actualmente se conocen más de 100 elementos químicos. El último, de número atómico 117, lo descubrieron en abril de 2010 dos equipos de investigadores rusos y norteamericanos.

Todos los elementos conocidos están ordenados por filas (**periodos**) y columnas (**grupos**) en una tabla bidimensional conocida como Tabla Periódica, de forma que **los elementos del mismo grupo tienen propiedades parecidas**.

La tabla periódica más famosa es la de **Mendeleiev**, que este químico ruso publicó en 1869. Se basaba en el orden creciente de masas atómicas. Como había huecos en la tabla que elaboró, predijo las propiedades de los elementos que deberían estar allí. Unos años después se descubrieron el galio y el germanio, con las propiedades previstas por Mendeleiev.

Sin embargo, hoy se utiliza la tabla de **Werner y Paneth**, publicada ya en el siglo XX (1954) y que se basa en las estructuras electrónicas de los átomos. Consta de 18 columnas y 7 filas, además de dos filas fuera de la tabla, como puedes ver en la imagen.

Puedes observar que los elementos se ordenan por **orden creciente de número atómico**. Es decir, el elemento número 11, que es el sodio, tiene 11 protones y 11 electrones. El elemento siguiente, situado a su derecha, es el 12, el siguiente más a la derecha el 13, y así sucesivamente.

La **Tabla Periódica de Elementos** es sencillamente el ordenamiento de los elementos químicos según su número atómico, es decir, la cantidad de protones del núcleo de un átomo. Las propiedades físicas y químicas de un elemento y sus compuestos se relacionan con la posición que ocupa ese elemento en la tabla, la que se divide básicamente en **grupos** y **periodos**.

PERÍODO	GRUPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		1 H HIDRÓGENO																	2 He HELIO
2		3 Li LITIO	4 Be BERILIO											5 B BORO	6 C CARBONO	7 N NITRÓGENO	8 O OXÍGENO	9 F FLÚOR	10 Ne NEÓN
3		11 Na SODIO	12 Mg MAGNESIO											13 Al ALUMINIO	14 Si SILICIO	15 P FÓSFORO	16 S AZUFRE	17 Cl CLORO	18 Ar ARGÓN
4		19 K POTASIO	20 Ca CALCIO	21 Sc ESCANDIO	22 Ti TITANIO	23 V VANADIO	24 Cr CROMO	25 Mn MANGANESIO	26 Fe HIERRO	27 Co COBALTO	28 Ni NIQUEL	29 Cu COBRE	30 Zn ZINC	31 Ga GALIO	32 Ge GERMANIO	33 As ARSENICO	34 Se SELENIO	35 Br BROMO	36 Kr CRIPTON
5		37 Rb RUBIDIO	38 Sr ESTRONCIO	39 Y ITRIO	40 Zr ZIRCONIO	41 Nb NIOBIO	42 Mo MOLIBDENO	43 Tc TECNOLIO	44 Ru RUTENIO	45 Rh RODIO	46 Pd PALADIO	47 Ag PLATA	48 Cd CADMIO	49 In INDIO	50 Sn ESTAÑO	51 Sb ANTIMONIO	52 Te TELURO	53 I YODO	54 Xe XENÓN
6		55 Cs CESIO	56 Ba BARIO	57 La LANTANO	72 Hf HAFNIO	73 Ta TANTALO	74 W WOLFRAMIO	75 Re RENIIO	76 Os OSMIO	77 Ir IRIDIO	78 Pt PLATINO	79 Au ORO	80 Hg MERCURIO	81 Tl TALIO	82 Pb PLOMO	83 Bi BISMUTO	84 Po POLONIO	85 At ASTATO	86 Rn RADÓN
7		87 Fr FRANCIO	88 Ra RADIO	89 Ac ACTINIO	104 Rf RUFENIO	105 Db DUBNIO	106 Sg SILBORGIO	107 Bh BOHRIO	108 Hs HASSIO	109 Mt MITLENIO	110 Uun UNUNUNIO	111 Uuu UNUNUNIO	112 Uub UNUNBIO	114 Uuq UNUNQUADRO	116 Uuh UNUNHEXIO	118 Uuo UNUNOCTIO			
LANTANIDOS		58 Ce CESIO	59 Pr PRASEODIMIO	60 Nd NEODIMIO	61 Pm PROMECIO	62 Sm SAMARIO	63 Eu EUROPIO	64 Gd GADOLINIO	65 Tb TERBIO	66 Dy DISPROSIO	67 Ho HOLMIO	68 Er ERBIO	69 Tm TULIO	70 Yb YTERBIO	71 Lu LUTECIO				
ACTINIDOS		90 Th TORIO	91 Pa PROTACTINIO	92 U URANIO	93 Np NEPTUNIO	94 Pu PLUTONIO	95 Am AMERICIO	96 Cm CURIO	97 Bk BERKELIO	98 Cf CALIFORNIO	99 Es EINSTEINIO	100 Fm FERMIUM	101 Md MENDELIVIO	102 Np NOBELIO	103 Lr LAURENCIO				

NOTAS:

- METALES
- METALOIDES
- NO METALES
- GASES NOBLES

¿Qué debes saber de la tabla?

En primer lugar, el **nombre** y **símbolo** de los elementos que están marcados con el punto rojo. Además, también tienes que saber el nombre de los siguientes grupos: 1- **Alcalinos**; 2- **Alcalinotérreos**; 17- **Halógenos**; 18- **Gases nobles**.

2.1 Tabla y estructuras electrónicas

La tabla periódica y las estructuras electrónicas

- Las estructuras electrónicas quedan reproducidas en la tabla periódica: 2 elementos en el primer periodo, 8 en el segundo (2 + 6) y en el tercero, 18 en el cuarto y el quinto (2 + 10 + 6) y 32 en el sexto y el séptimo (2 + 10 + 6 + 14 fuera de la tabla).
- Los elementos del mismo grupo tienen la misma estructura electrónica en la capa más externa.
- El periodo en el que se encuentra cada elemento coincide con el número de la capa más externa que se está ocupando.

Tanto la ordenación de Mendeleiev como la actual se caracterizan porque los elementos del mismo grupo tienen propiedades físicas y químicas parecidas: reactividad, tamaño atómico, carácter metálico, etc. Como esas propiedades varían regularmente reciben el nombre de propiedades periódicas.

Vas a ver cómo se justifica la variación de esas propiedades teniendo en cuenta precisamente las estructuras electrónicas de los elementos químicos.

2.2 Reactividad

En el vídeo puedes observar la diferente reactividad de los elementos alcalinos cuando reaccionan con agua. La conclusión es clara: el orden de reactividad es $\text{Li} < \text{Na} < \text{K} < \text{Rb} < \text{Cs}$ ¡La explosión en este último caso resulta espectacular!

¿Cómo puedes justificarlo? Debes tener en cuenta que en todos los casos la reacción es (donde M es un elemento alcalino):



Es decir, M se transforma en M^+ , para lo que debe perder un electrón.



En resumen, los elementos alcalinos reaccionan con agua formando un ión positivo y perdiendo un electrón. Fíjate ahora en las estructuras electrónicas de esos elementos:

Li: 2, 1

Na: 2, 8, 1

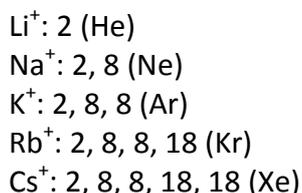
K: 2, 8, 8, 1

Rb: 2, 8, 8, 18, 1

Cs: 2, 8, 8, 18, 18, 1

¡Todos los elementos alcalinos reaccionan perdiendo un electrón, el único que tienen en la capa más externa!

Las estructuras de los iones resultantes son:

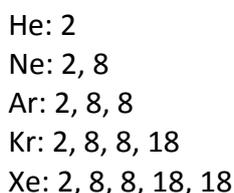


Entre paréntesis se indica el elemento químico que tiene esa misma estructura electrónica, el gas noble anterior a cada elemento ionizado.

En conclusión, los elementos han reaccionado ionizándose para alcanzar la estructura del gas noble anterior en la tabla periódica.

Al hacer un estudio similar con los halógenos se observa que reaccionan ganando el electrón que necesitan para alcanzar la estructura electrónica del gas noble siguiente en la tabla. Por ejemplo, $\text{Cl} + e^- \rightarrow \text{Cl}^-$.

Si **los elementos reaccionan para alcanzar la estructura electrónica de los gases nobles** ¿cómo reaccionan estos? Los gases nobles no reaccionan mas que en condiciones extremas de presión y temperatura, por lo que en las condiciones habituales son muy estables, tanto que los demás elementos tienden a alcanzar su estructura. El término **noble** en química indica poco reactivo.



La regla del octeto

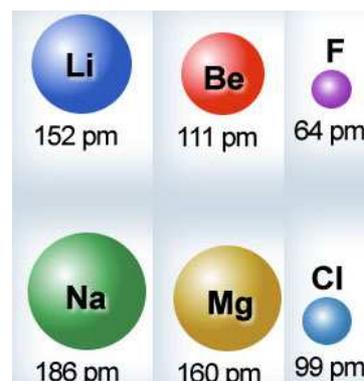
Los elementos químicos tienden a reaccionar para alcanzar la estructura electrónica de gas noble, con la última capa electrónica completa. Como las capas segunda y tercera tienen ocho electrones, se suele llamar **regla del octeto**.

2.3 Otras propiedades periódicas

Tamaño de los átomos

Es muy sencillo justificar la diferencia de tamaño de los átomos de los elementos de un grupo de la tabla. En la imagen puedes ver el radio comparado de tres pares de átomos del mismo grupo, supuesto que son esferas perfectas. Los datos se dan en picómetros (pm), que equivalen a 10^{-12} metros.

Si observas los datos, es mayor en todos los casos el tamaño del átomo de los elementos que están más abajo en el grupo de la tabla periódica (alcalinos, alcalinotérreos y halógenos).



¿Cómo puedes justificar este hecho experimental? Solamente debes tener en cuenta las estructuras electrónicas respectivas de los elementos:

Li: 2, 1

Na: 2, 8, 1

Es decir, los dos átomos tienen un único electrón en la capa más externa. Pero como en el Na hay una capa más que en el Li (tres y dos), el Na es mayor.

El mismo razonamiento puedes aplicar en los otros dos casos. Pero no intentes justificar por qué el radio disminuye de Li a Be y a F: la razón es mucho más compleja y queda para Bachillerato.

Carácter metálico

Los metales son los elementos que tienen tendencia a perder electrones, mientras que los no metales tienen tendencia a ganarlos.

Serán metales aquellos elementos con pocos electrones en la capa más externa, y que pueden perderlos con facilidad, como sucede en los alcalinos y los alcalinotérreos, que pierden uno o dos electrones para quedarse con la capa más externa completa. Están colocados hacia la izquierda en la tabla periódica.

Por el contrario, los no metales ganan electrones para completar su capa electrónica más externa. Están situados hacia la derecha de la tabla.

Los gases nobles no tienen carácter metálico ni no metálico.

En la imagen los **metales** aparecen en azul, los **no metales** en naranja y los **gases nobles** en rojo. Los elementos en color verde oscuro son los **semimetales**, que tienen características intermedias entre metales y no metales.

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	* Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	** Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	
			* La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb		
			** Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No		

3. La medida de la masa de los átomos

En la tabla periódica en formato web tienes detalladas las propiedades más importantes de cada elemento. En este momento solamente te vas a fijar en la masa atómica.

Masa atómica relativa

La masa que aparece en la tabla periódica corresponde al promedio ponderado de las masas de los isótopos del elemento. De esta forma, el dato de **masa atómica relativa** del cloro se calcula teniendo en cuenta que el isótopo 35 tiene una abundancia del 77,50 % y el 37 del 22,50 %:

$$m_{relativa}(Cl) = \frac{35 \cdot 77,50 + 37 \cdot 22,50}{100} = 35,45$$

Sin embargo, no hay ningún átomo de cloro que tenga esa masa (ni tampoco en otros elementos, salvo que el elemento no tenga isótopos, caso muy poco habitual, y todos los átomos tengan la misma masa).

Su valor indica cuántas veces tiene más masa un átomo de un elemento químico que la masa que se toma como referencia. Inicialmente se tomó como patrón la masa del átomo de hidrógeno, pero actualmente es la doceava parte de la masa atómica del isótopo 12 del carbono. La diferencia es muy pequeña: 1,0000 o 1,008 para la masa atómica relativa del H.

El orden creciente de número atómico por el que se ordenan los elementos en la tabla se reproduce en el orden de masas atómicas, salvo en tres excepciones: Ar-K, Co-Ni y Te-I, pares en los que el segundo elemento, que va detrás en la tabla, tiene menos masa que el primero.

La unidad de masa atómica

Inicialmente se tomó como patrón de referencia de masas a escala atómica (unidad de masa atómica, uma ó u) la masa del átomo de hidrógeno, pero actualmente el patrón es la doceava parte de la masa atómica del isótopo 12 del carbono.

La masa real de la uma es $1,66 \cdot 10^{-24}$ g.

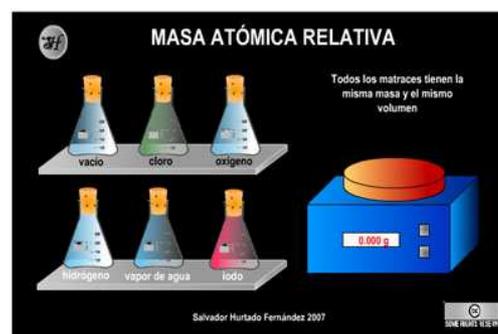
La masa de los iones

La **masa de los átomos y la de los iones que forman se consideran iguales**, ya que la diferencia es la masa de los electrones ganados o perdidos, despreciable en comparación con la masa del átomo neutro. Es decir, si la masa relativa del Na es 23, la del ión Na^+ también es 23.

3.1 Una escala de masas relativas

¿Cómo se determina la escala de masas atómicas relativas?

Vas a trabajar con la simulación siguiente. Observa que hay seis erlenmeyers iguales (misma masa y volumen). Uno de ellos está vacío, y los otros cinco tienen gases diferentes (cloro, oxígeno, hidrógeno, vapor de agua y yodo), de forma que su temperatura y la presión que producen es la misma.



Según el modelo de partículas de la materia que ya conoces, la presión está originada por el movimiento desordenado de las partículas del gas al chocar con las paredes del recipiente que las contiene. Como la temperatura es la misma, la energía del choque es la misma en todos los casos. Luego si la presión tiene el mismo valor, se debe a que en todos los recipientes hay el mismo número de partículas. Este razonamiento se conoce como **hipótesis de Avogadro**.

Una escala de masas relativas

De acuerdo con las medidas anteriores, la masa de gas en el recipiente que contiene cloro (m) es el número de partículas que hay de cloro (N) por la masa de cada una de ellas (M). Lo mismo sucede en el resto de los gases, considerando que **N es el mismo en todos los casos pero M es diferente**.

$$m(\text{cloro}) = N(\text{cloro}) \cdot M(\text{cloro}) = 0,887 \text{ g}$$

$$m(\text{oxígeno}) = N(\text{oxígeno}) \cdot M(\text{oxígeno}) = 0,400 \text{ g}$$

$$m(\text{hidrógeno}) = N(\text{hidrógeno}) \cdot M(\text{hidrógeno}) = 0,025 \text{ g}$$

$$m(\text{vapor de agua}) = N(\text{vapor de agua}) \cdot M(\text{vapor de agua}) = 0,215 \text{ g}$$

$$m(\text{yodo}) = N(\text{yodo}) \cdot M(\text{yodo}) = 3,169 \text{ g}$$

Como en el erlenmeyer que contiene hidrógeno hay la menor masa de gas, la partícula de hidrógeno es la de menor masa, y, por tanto, se toma como referencia: vas a determinar cuántas veces tiene más masa cada una de las otras cuatro partículas que la de hidrógeno.

Para ello, divides la igualdad de cada gas por la del hidrógeno, de la forma siguiente para el cloro:

$$\frac{0,887 \text{ g}}{0,025 \text{ g}} = \frac{N M(\text{cloro})}{N M(\text{hidrógeno})} = \frac{M(\text{cloro})}{M(\text{hidrógeno})} = 35,48$$

El dato de masa atómica relativa del cloro que aparece en la tabla periódica es muy aproximadamente 35,48, aunque ningún átomo de cloro tiene esa masa.

Debes tener en cuenta que las moléculas de hidrógeno, cloro, oxígeno y yodo son biatómicas, por lo que si hay N moléculas también hay $2N$ átomos, pero la relación anterior no varía.

3.2 Medida de la masa de las partículas

La unidad de masa atómica

La masa real de un átomo de un elemento se mide en **unidades de masa atómica** (cuyo símbolo se escribe **u** o **uma**) que es la masa real tomada como referencia a escala atómica.

De esta forma, se puede decir que la masa atómica relativa del cobre es 63,54, y que su masa real es de 63,54 u.

La masa real de las partículas

Para saber la masa real de un átomo, molécula o ión solamente necesitas saber qué masa real tiene la unidad de masa atómica, cuyo valor es de $1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$.

Es decir, en el caso anterior: $m(\text{Cu}) = 63,54 \text{ u} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g/u} = 1,055 \cdot 10^{-22} \text{ g}$

¿Cuántos átomos hay en un gramo de cobre? Acabas de ver que un átomo de cobre tiene una masa de $1,055 \cdot 10^{-22} \text{ g}$. Por tanto, no tienes mas que plantear la proporción siguiente:

$$\frac{1 \text{ átomo de Cu}}{1,055 \cdot 10^{-22} \text{ g}} = \frac{N \text{ átomos}}{1 \text{ g}}; \quad N = 9,48 \cdot 10^{21} \text{ átomos de Cu}$$

Esto supone que para tener un gramo de cobre hacen falta $9,48 \cdot 10^{21}$ átomos, que son nada menos que 9480 trillones de átomos. ¡La masa de los átomos es realmente muy pequeña!

El número de Avogadro

Si en lugar de calcular el número de átomos que hay en un gramo de hierro quieres determinar el número que hay en 55,85 gramos de Fe (es decir, en una masa en gramos numéricamente igual a su masa atómica relativa), no tienes mas que cambiar el número 1 por 55,85 en la proporción resuelta antes. El resultado obtenido es $6,023 \cdot 10^{23}$.



$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$$

Y si repites el cálculo con cualquier otro átomo o molécula, siempre sale ese número de partículas $6,023 \cdot 10^{23}$. Es decir, en una masa de cualquier sustancia igual a su masa atómica o molecular relativa (según sea átomo o molécula) hay $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos o moléculas. Ese número tiene una importancia extraordinaria en Química y recibe el nombre de **número de Avogadro**.

4. El enlace entre los átomos

¿Por qué se unen los átomos?

Los únicos átomos que existen libres en la naturaleza son los de los gases nobles, que se utilizan en iluminación decorativa. Como tiene su última capa electrónica completa, su situación es muy estable y no cambia.

Sin embargo, el resto de átomos tiende a completar su última capa (**regla del octeto**), porque esa situación es la más estable.

¿Cómo quedan unidos los átomos?

Las **fuerzas** que mantienen unidos los átomos son **de naturaleza electrostática**.

Si dos átomos están separados, no interaccionan, pero si se acercan aparecen fuerzas electrostáticas entre los núcleos y los electrones de los dos átomos (atractivas entre el núcleo de un átomo y los electrones del otro, y repulsivas entre los núcleos de los dos átomos por un lado y entre los electrones de ambos átomos por otro).

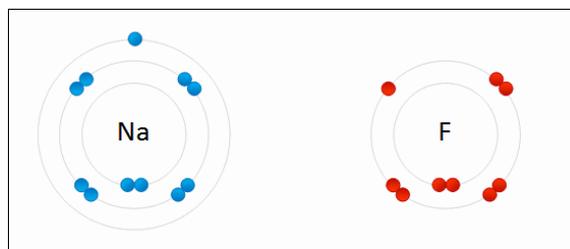
Hay tres mecanismos fundamentales de unión de átomos, **tres tipos de enlace**.

Enlace iónico

Si los átomos tienen pocos electrones en la capa más externa (entre 1 y 4), los pierden con facilidad, formando cationes (iones positivos). Es lo que les sucede a los elementos metálicos.

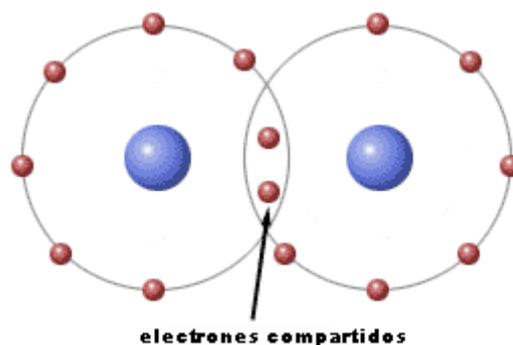
Si los átomos necesitan pocos electrones para completar su capa más externa (también entre 1 y 4), los ganan, dando lugar a aniones (iones negativos). Este comportamiento lo tienen los elementos no metálicos.

En general, los átomos se ionizan perdiendo o ganando electrones para tener completa la última capa electrónica, de forma que los electrones que pierde un átomo para formar un catión los gana otro dando lugar a un anión.



Enlace covalente

Pero si se ponen en contacto sustancias cuyos átomos necesitan ganar electrones para completar sus capas más externas, no puede haber transferencia de electrones, porque ningún átomo puede perderlos. La solución consiste en compartirlos, de manera que inicialmente cada uno de los dos átomos tenía un electrón propio, y al unirse los dos electrones pertenecen a la vez a los dos átomos, los comparten. Se dice que el enlace es covalente, por compartición de electrones.



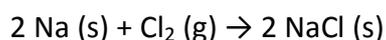
Enlace metálico

En este caso a todos los átomos les sobran electrones. Se trata del caso más complejo y solamente verás un modelo de enlace metálico muy sencillo aunque incompleto.

4.1 Enlace iónico

¿De dónde salen los electrones que necesitan los no metales para completar su capa más externa? Como ya has visto, de los que pierden los metales cuando vacían su capa electrónica exterior.

Por tanto, si se mezclan en un recipiente una sustancia como el sodio, que tiene una gran tendencia a perder el electrón de su capa más externa, con el cloro, que necesita un electrón para completarla, la reacción se producirá con facilidad, transfiriéndose el electrón del sodio, que lo pierde, al cloro, que lo gana.



La reacción tiene tanta tendencia a producirse que resulta casi explosiva, produciéndose un gran desprendimiento de energía en forma de luz y calor.

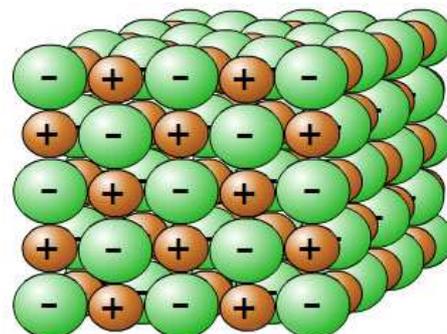
Si te fijas en la simulación, observarás que en realidad no se forma un par de iones de cada tipo (Na^+ y Cl^-), sino que se forma una gran cantidad de cada uno de ellos, según cuál sea la cantidad de reactivos que se hayan transformado.

Toda esa enorme cantidad de iones se distribuye de una forma regular, muy ordenada, equilibrándose las fuerzas electrostáticas atractivas y repulsivas, dando lugar a una **estructura gigante**. Se le suele llamar también cristal, pero ese nombre puede dar lugar a errores, porque en muchos casos no tienen aspecto cristalino.

La fórmula de las sustancias iónicas

Cuando el sodio reacciona con el cloro, cada átomo de sodio pierde un electrón, que gana un átomo de cloro para formar el par de iones Na^+ y Cl^- .

Pero si en lugar de sodio reacciona magnesio, pierde los dos electrones que tiene en la capa más externa, formando el ión Mg^{2+} . Por tanto, reaccionará con dos átomos de cloro, dando lugar a dos iones Cl^- . La fórmula de la sustancia formada será MgCl_2 . En un trozo de cloruro de magnesio habrá una enorme cantidad de los dos tipos de iones, pero habrá el doble de iones Cl^- que de iones Mg^{2+} . Por eso, la fórmula indica la **proporción de iones en la sustancia**.



Significado de la fórmula de las sustancias iónicas

La fórmula indica la proporción de iones de cada tipo en la sustancia.

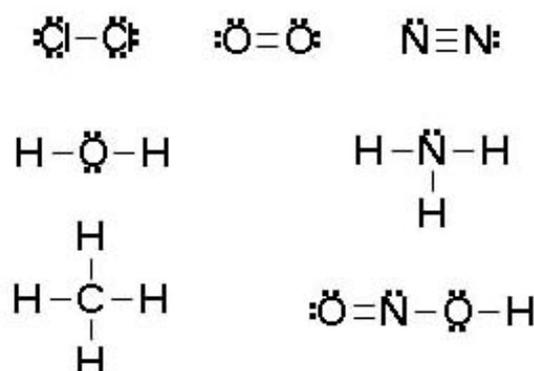
4.2 Enlace covalente

En este caso, los dos átomos que se van a enlazar necesitan electrones, por lo que los comparten para completar sus capas electrónicas más externas respectivas. Se llama **valencia** al número de enlaces formados y el enlace recibe el nombre de covalente.

La forma más sencilla de justificar la formación de sustancias con enlaces covalente es utilizar las **estructuras electrónicas de Lewis**. Como cada uno de los dos átomos unidos aporta un electrón al par compartido, se suele trabajar directamente con pares de electrones.

¿Cómo se representan las estructuras de Lewis?

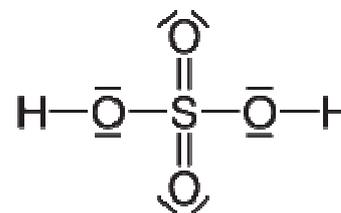
- Se determina el número de electrones de la capa más externa de todos los átomos de la sustancia (1 en H, 4 en C, 5 en N, 6 en O, 7 en Cl, etc) y se establece el número total de pares de electrones a distribuir.
- Se colocan los átomos unidos entre sí por un par de electrones. Las distribuciones espaciales de átomos suelen ser simétricas.
- El número de pares resultante se reparte entre todos los átomos de manera que se cumpla la regla del octeto.



- Cada par de electrones se representa por dos puntos o una raya.
- Si no hay suficiente número de pares de electrones, se utilizan enlaces dobles o triples para alcanzar el octeto.

La regla del octeto no siempre se cumple

La regla del octeto tiene excepciones: hay moléculas en las que el átomo central está rodeado por 2, 3, 5 o 6 pares de electrones, por lo que no se cumple la regla del octeto.



Por ejemplo, el azufre está rodeado por seis pares de electrones en el H_2SO_4 , el nitrógeno por cinco en el ácido nítrico (HNO_3), pero el boro solamente por tres pares en el BF_3 , y el berilio por dos en el $BeCl_2$. ¡Y en todos los casos se trata de moléculas estables!

Moléculas y estructuras gigantes covalentes

Los enlaces covalentes dan lugar habitualmente a moléculas. Las sustancias moleculares constituyen un porcentaje superior al 95% entre todas las sustancias conocidas hoy en día.

Pero en unos pocos casos se forman sustancias cuyas propiedades no se parecen nada a las moleculares. Los casos más conocidos son la sílice (SiO_2) y el diamante (C). En esas sustancias no hay moléculas, sino que se forma una estructura gigante de átomos unidos mediante enlace covalente.



El número de enlaces que forman los átomos

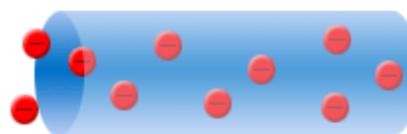
El **hidrógeno** forma un único enlace, por lo que solamente está unido a un átomo, y siempre está en los extremos de las moléculas.

El **oxígeno** forma dos enlaces, con dos átomos diferentes o con un único átomo, y entonces el enlace es doble.

El **carbono** forma cuatro enlaces. En algunos compuestos, dos de ellos son sencillos y uno doble.

4.3 Enlace metálico

El enlace que se produce en los metales es el más difícil de explicar. Sin embargo, hay un modelo sencillo que permite justificar la propiedad más característica de los metales, que es la conducción de la corriente eléctrica.



Ya sabes que para que haya corriente eléctrica en un material es necesario que haya un flujo de electrones todos en la misma dirección y sentido. Por tanto, debe haber **electrones con facilidad de movimiento** dentro de los metales, de manera que si se conectan los extremos de un tubo metálico a una diferencia de potencial (¡a un generador de corriente!), los electrones se mueven hacia el extremo positivo del generador y se produce corriente eléctrica.

Los metales forman estructuras gigantes en las que los átomos están ordenados en una red tridimensional. Como los átomos metálicos tienen pocos electrones en la capa más externa, tienden a perderlos para quedarse con su capa más externa completa (regla del octeto). Se forman iones positivos y quedan electrones libres, que se mueven desordenadamente dentro del metal como si fueran las partículas de un gas (por esa razón se llama **modelo del gas electrónico**). Y al actuar una diferencia de potencial, los electrones se desplazan todos en un sentido y hay corriente eléctrica.

4.4 Tipos de sustancia y tipos de enlace

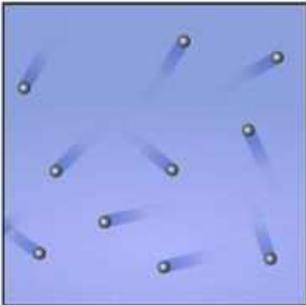
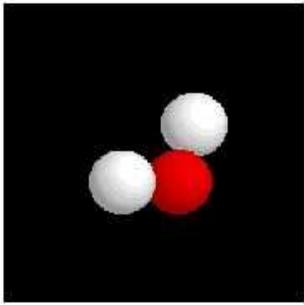
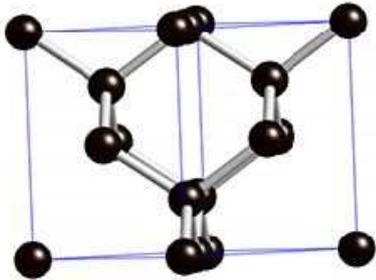
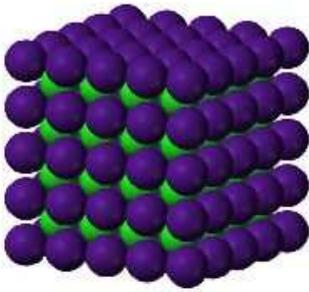
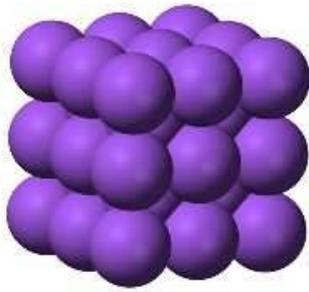
Los átomos de los gases nobles no forman ningún tipo de enlace, dado que su estructura electrónica es muy estable y no tienen tendencia a alterarse. Por esa razón, un recipiente con un gas noble no contiene más que átomos libres (Ne).

Pero si se forma una sustancia mediante enlace iónico, los iones se organizan en una estructura gigante (NaCl).

Si en la sustancia los átomos se unen mediante enlace covalente, hay dos posibilidades: que se formen moléculas (H₂O) o que los átomos se organicen en una estructura gigante (C diamante).

Por último, si la sustancia es metálica, hay iones del metal dando lugar a una estructura gigante y electrones deslocalizados, libres (Cu).

Fíjate en que hay **tres tipos de enlace, cuatro tipos de sustancias, tres tipos de partículas y dos tipos de estructuras**.

<p>Partículas individuales (a la derecha)</p> <p>Estructuras gigantes (debajo)</p>	 <p>Neón (Ne)</p>	 <p>Agua (H₂O)</p>
 <p>Diamante (C)</p>	 <p>Cloruro de sodio (NaCl)</p>	 <p>Cobre (Cu)</p>

Enlace	Tipo de sustancia	Partículas	Estructura
Iónico	Iónica	Iones	Gigante
Metálico	Metálica	Átomos	Gigante
Covalente	Molecular Covalente	Moléculas Átomos	Partículas Gigante

5. Las propiedades de las sustancias

El estudio experimental de las propiedades de las sustancias permite clasificarlas en cuatro grupos: iónicas, moleculares, covalentes y metálicas.

El estado sólido es el único en que se dan los cuatro tipos de sustancias: si se trata de un gas, seguro que es una sustancia molecular; y también si es líquida, excepto que sea mercurio, que tiene un aspecto y propiedades tan características que se reconoce con facilidad.

En la imagen tienes algunas sustancias muy habituales, clasificadas por tipo de enlace y de sustancia.



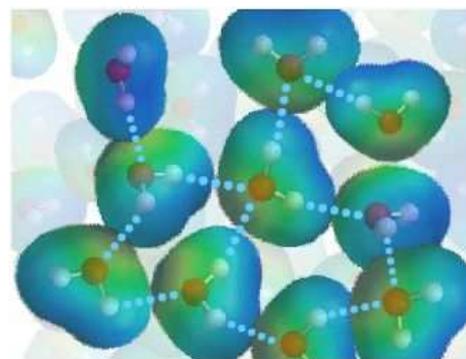
Las propiedades de las sustancias dependen de las características de las estructuras formadas.

Así, para separar los iones de una red iónica hay que vencer fuerzas electrostáticas, muy intensas.

También son muy intensos los enlaces covalentes que hay que romper para destruir una red covalente como la del diamante.

Fuerzas intermoleculares

Sin embargo, para separar moléculas hay que vencer interacciones mucho más débiles, las **fuerzas intermoleculares**. Hay un tipo particular muy importante de fuerzas intermoleculares llamadas **puentes de hidrógeno**, que unen moléculas en las que hay H unido a O o N: se dice que esos enlaces están polarizados, ya que el O y el N atraen al par de electrones del enlace covalente con mucha mayor intensidad que el H, por lo que en esos enlaces hay una cierta separación de cargas, con el extremo positivo en el H y



el negativo en el O o en el N. Debido a esa separación de cargas las moléculas se orientan unas con respecto a otras, atrayéndose y estableciéndose un cierto orden entre ellas, como puedes ver en la simulación.

Entre todas las moléculas hay fuerzas de atracción llamadas **dispersivas**, que son mayores cuanto mayor es la masa de las moléculas, y que permiten explicar la existencia de sustancias moleculares en estado líquido o sólido.

Por esta razón, los puntos de fusión y ebullición de las sustancias moleculares son apreciablemente menores, salvo excepciones, que los de las sustancias iónicas, covalentes y metálicas.

La fuerzas intermoleculares entre moléculas de importancia biológica

Las sustancias que forman la materia viva están formadas por moléculas (azúcares, proteínas, etc). Su actividad biológica depende en gran medida de cómo interaccionan entre ellas, es decir, del tipo e intensidad de sus fuerzas intermoleculares.

Comparación de las propiedades de las sustancias

En la tabla siguiente puedes ver las propiedades de los diferentes tipos de sustancias.

		IÓNICA	MOLECULAR	COVALENTE	METÁLICA
	Tipo de enlace	Iónico	Covalente	Covalente	Metálico
	Fuerza de enlace entre partículas	Atracción electrostática catión-anión	Intermoleculares	Enlaces covalentes	Atracción electrostática cationes-electrones de la nube
1	Dureza	Alta	Baja	Alta	Variable
2	Estado natural (25°C y 1 atm)	Sólidos	Gas, líquido o sólido	Sólido	Sólido (excepto Hg)
3	Puntos de fusión y de ebullición	Altos	Bajos	Muy altos	Altos
4	Solubilidad en agua	Si	Variable	No	No
5	Conductividad de la corriente eléctrica	Sólidos no Fundidos o disueltos sí	No	No	Si
		NaCl, CaCO ₃	Cl ₂ , HCl, azúcar	Diamante (C) Sílice (SiO ₂)	Cu, Fe

Identificación de sustancias

Dadas las propiedades de una sustancia es posible clasificarla según su tipo e incluso reconocerla entre varias.

Por ejemplo, si una sustancia tiene un punto de fusión de -15 °C, es blanquecina y no conduce la corriente eléctrica, puedes asegurar que es molecular, ya que no es sólida a temperatura ambiente (¡ha fundido a 15 bajo cero!) y por ser blanquecina no es mercurio, que tiene aspecto metálico.

6. Nomenclatura y formulación

A mitad de 2012 se conocen más de 60 millones de sustancias, por lo que es imprescindible un sistema de nomenclatura para asignar un nombre a cada una de ellas que permita identificarlas.

En la Física y Química de 3º de ESO aprendiste el nombre de las sustancias de la tabla siguiente.

agua H ₂ O	agua oxigenada H ₂ O ₂	amoníaco NH ₃	dióxido de carbono CO ₂	ácido clorhídrico HCl
ácido carbónico H ₂ CO ₃	ácido nítrico HNO ₃	ácido sulfúrico H ₂ SO ₄	cloruro de sodio NaCl	hidróxido de sodio NaOH
carbonato de calcio CaCO ₃	bicarbonato de sodio NaHCO ₃	sulfato de cobre CuSO ₄	nitrato de amonio NH ₄ NO ₃	hipoclorito de sodio NaClO

Además, te hiciste una idea de cómo es el sistema de nomenclatura utilizado por la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) con dos tipos de compuestos en los que su uso resulta muy sencillo: los óxidos, los hidróxidos y las sales binarias.

Óxidos: están formados por cualquier elemento y oxígeno. No tienes más que indicar el número de átomos de cada tipo que hay en la sustancia (SO_3 : trióxido de azufre). Utiliza los prefijos di, tri, tetra, penta, hexa, etc. No se utiliza el prefijo mono para indicar un grupo, excepto en el CO , que se llama monóxido de carbono.



Hidróxidos: están formados por un átomo de metal unido al grupo OH. Siempre hay solamente un átomo de metal, por lo que no tienes más que indicar el número de grupos hidróxido que hay ($\text{Mg}(\text{OH})_2$: dihidróxido de magnesio).

Sales binarias: están formadas por un metal, que se escribe en primer lugar, y por un no metal, que se escribe a la derecha. Los no metales implicados son solamente cinco, formando los iones F^- (fluoruro), Cl^- (cloruro), Br^- (bromuro), I^- (ioduro) y S^{2-} (sulfuro). Se nombran como en los casos anteriores: el K_2S es el sulfuro de dipotasio.

Tipos de sustancias para nombrar y formular

Aunque hay muchos más tipos, solamente vas a ver cómo se nombran y formulan los siguientes tipos de compuestos:

Tipo	Características	Fórmula general
óxido	oxígeno unido a metal o no metal	$\text{M}_2\text{O}_x, \text{N}_2\text{O}_x$
hidróxido	metal unido a grupo OH	$\text{M}(\text{OH})_x$
hidruro	metal o no metal unido a hidrógeno	MH_x, NH_x
sal binaria	metal unido a no metal	M_xN_y
ácido oxoácido	no metal con oxígeno e hidrógeno	$\text{N}_x\text{O}_y\text{H}_z$
sal ternaria	anión de ácido oxoácido unido a metal	$\text{N}_x\text{O}_y\text{M}_z$

El símbolo M indica que se trata de un metal, y N que es un no metal. Los subíndices explicitan el número de átomos de cada tipo que hay en el compuesto.

El **número de enlaces que forma un átomo** se llama **valencia**. El **hidrógeno** forma siempre un enlace, y por eso se dice que **su valencia es I**. La **valencia del oxígeno es II**. La mayoría de los elementos tienen más de una valencia. Por ejemplo, los alcalinos siempre tienen valencia I, el aluminio tiene valencia III, pero el hierro tiene valencias II y III.

Sistemas de nomenclatura

Hay tres sistemas de nomenclatura admitidos por la IUPAC:

- **Sistemática:** se indica el **número de átomos de cada tipo** que hay en el compuesto. Es el que viste el curso pasado.
- **De stock:** se indica la **valencia de los elementos** que tengan más de una (no es necesario indicarla para H, N, Al, alcalinos, etc).
- **Tradicional:** sigue unas reglas con sufijos algo más complejas, pero se sigue usando sobre todo en ácidos oxoácidos y sales ternarias.

6.1 Compuestos binarios

En todos los casos se trata de que los dos átomos o grupos unidos formen el mismo número de enlaces uno con otro.

Óxidos

Como el oxígeno forma dos enlaces con el otro elemento, si éste tiene valencia I (solamente forma un enlace) harán falta dos átomos para unirse al oxígeno, pero solamente uno si tiene valencia II. Y si el elemento tiene valencia IV, harán falta dos átomos de oxígeno para unirse al elemento (cada oxígeno formará dos enlaces, y los dos formarán cuatro en total).

Si el elemento tiene valencias III o V, harán falta tres o cinco átomos de oxígeno por cada dos del otro elemento.

Na: el sodio forma un enlace y el oxígeno dos, formándose Na_2O (óxido de disodio, óxido de sodio (I)).

Mg: el magnesio forma dos enlaces, y se origina MgO (óxido de magnesio, óxido de magnesio (II)).

C: el carbono forma cuatro enlaces, dando lugar a CO_2 (dióxido de carbono, óxido de carbono (IV)).

Al: el aluminio tiene valencia III y el oxígeno II; en total se deben formar 6 enlaces (mínimo común múltiplo de 3 y 2), por lo que hacen falta 2 átomos de Al (que forman 6 enlaces) y 3 de O (que también forman 6 enlaces). La sustancia resultante es Al_2O_3 (trioxido de dialuminio, óxido de aluminio (III)).

Hidróxidos

Como el oxígeno forma dos enlaces y el hidrógeno solamente uno (-O-H), el grupo OH forma un enlace y tiene valencia I.

Na: NaOH , hidróxido de sodio o hidróxido de sodio (I).

Ca: Ca(OH)_2 , dihidróxido de calcio o hidróxido de calcio (II).

Fe: Fe(OH)_2 , dihidróxido de hierro o hidróxido de hierro (II), Fe(OH)_3 , trihidróxido de hierro o hidróxido de hierro (III).

Pb: Pb(OH)_2 , dihidróxido de plomo o hidróxido de plomo (II), Pb(OH)_4 , tetrahidróxido de plomo o hidróxido de plomo (IV).

Hidruros

Se nombran como hidruros, pero hay algunos hidruros de no metal que tienen nombres tradicionales o vulgares que están admitidos y se siguen utilizando.

Ca: CaH_2 , dihidruro de calcio o hidruro de calcio (II).

Al: AlH_3 , trihidruro de aluminio o hidruro de aluminio (III).

N: NH_3 , trihidruro de nitrógeno, hidruro de nitrógeno (III), amoniaco.

Cl: HCl , hidruro de cloro, hidruro de cloro (I), cloruro de hidrógeno, ácido clorhídrico.

H_2O	agua	HF	ácido fluorhídrico
NH_3	amoniaco	HCl	ácido clorhídrico
CH_4	metano	HBr	ácido bromhídrico
H_2S	ácido sulfhídrico	HI	ácido iodhídrico

Sales binarias

Se nombran a partir del no metal, que es uno de los cinco elementos de los ácidos hidrácidos anteriores (S, F, Cl, Br y I), con la terminación -uro. El S forma dos enlaces mientras que los halógenos solamente forman uno.

Estos compuestos se derivan de los ácidos hidrácidos, sustituyendo el hidrógeno por metal.

S: Na_2S , sulfuro de disodio, sulfuro de sodio (I).

S: Ni_2S_3 , trisulfuro de diníquel, sulfuro de níquel (III).

Cl: KCl , cloruro de potasio, cloruro de potasio (I).

Br: FeBr_3 , tribromuro de hierro, bromuro de hierro (III).

I: SnI_4 , tetraioduro de estaño, ioduro de estaño (IV).

6.2 Compuestos ternarios

Ácidos oxoácidos

En este caso se utiliza la nomenclatura tradicional. Fíjate en el caso del H_2SO_4 , que es un ácido muy habitual. Se llama ácido sulfúrico, cuando su nombre IUPAC es tetraoxosulfato (VI) de hidrógeno.

Como hay muy pocos ácidos, lo más práctico es aprender su nombre en la tabla siguiente, que además te facilitará saber nombrar las sales ternarias.

Fíjate en que la tabla de ácidos presenta muchas regularidades: siempre hay un átomo del no metal, todos los ácidos del mismo elemento tienen igual número de hidrógenos (uno o dos) y el número de oxígeno disminuye de uno en uno.

El nombre proviene de la nomenclatura tradicional, con sufijos **-ico** y **-oso**, y prefijos **per-** e **hipo-**.

Ácidos oxoácidos			
H₂CO₃ (Si) ácido carbónico			
HNO₃ (P) ácido nítrico	HNO₂ ácido nitroso		
H₂SO₄ ácido sulfúrico	H₂SO₃ ácido sulfuroso	H₂SO₂ ácido hiposulfuroso	
HClO₄ (Br, I) ácido perclórico	HClO₃ ácido clórico	HClO₂ ácido cloroso	HClO ácido hipocloroso

Sales ternarias

Se derivan de los ácidos oxoácidos, sustituyendo el hidrógeno por metal. Como tiene comportamiento ácido, liberan H⁺ y queda un ión negativo con tantas cargas como átomos de H tenía el ácido. Ese anión forma enlaces iónicos con cationes metálicos. El nombre del anión es el del ácido cambiando el sufijo **-ico** por **-ato** y **-oso** por **-ito**, como puedes ver en la tabla.

Aniones de los ácidos oxoácidos			
CO₃²⁻ (Si) carbonato			
NO₃⁻ (P) nitrato	NO₂⁻ nitrito		
SO₄²⁻ sulfato	SO₃²⁻ sulfito	SO₂²⁻ hiposulfito	
ClO₄⁻ (Br, I) perclorato	ClO₃⁻ clorato	ClO₂⁻ clorito	ClO⁻ hipoclorito

¿Qué sal forman el HNO₃ y el Na? El HNO₃ da lugar al NO₃⁻, y el Na al Na⁺ (tiene valencia I, al tener el Na un único electrón en la capa más externa). Por tanto, reacciona un ión de cada tipo y la sal resultante es neutra: NaNO₃, nitrato de sodio (I).

Reactivos	Iones	Sal	Nombre
H ₂ SO ₄ + Ca (II)	SO ₄ ²⁻ + Ca ²⁺	CaSO ₄	sulfato de calcio (II)
HClO ₄ + Fe (II)	ClO ₄ ⁻ + Fe ²⁺	Fe(ClO ₄) ₂	perclorato de hierro (II)
H ₂ CO ₃ + Na (I)	CO ₃ ²⁻ + Na ⁺	Na ₂ CO ₃	carbonato de sodio (I)
HNO ₂ + Pb (IV)	NO ₂ ⁻ + Pb ⁴⁺	Pb(NO ₂) ₄	nitrito de plomo (IV)
H ₂ SO ₂ + Al (III)	SO ₂ ²⁻ + Al ³⁺	Al ₂ (SO ₂) ₃	hiposulfito de aluminio (III)

7. Compuestos del carbono

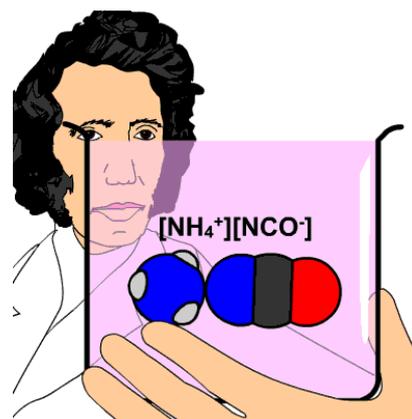
La urea y el vitalismo

El carbono es el elemento de la tabla periódica que forma más compuestos, con una enorme diferencia sobre todos los demás. Hasta hace casi dos siglos se pensaba que los compuestos que forma el carbono solamente existían en la materia viva, y que únicamente se podían obtener a partir de ella. Sin embargo, Whöler sintetizó urea a mitad del siglo XIX a partir de sustancias inorgánicas, terminando con la teoría vitalista vigente hasta entonces.

La urea, de fórmula $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, se produce cuando el cuerpo humano metaboliza las proteínas en el hígado. Se elimina por la orina (unos 30 g cada día).

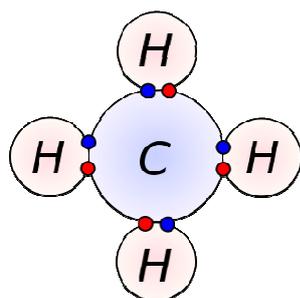
Se prepara comercialmente a partir de amoníaco y de CO_2 , y se utiliza sobre todo en la fabricación de fertilizantes agrícolas (el 90%). La producción mundial de urea en 2008 fue de 146 millones de toneladas.

Por esa razón ya no se usa el nombre de química orgánica, sino el de **química de los compuestos del carbono**.

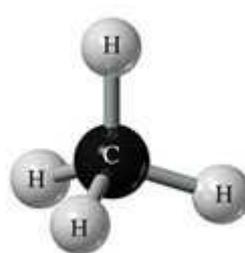


Cadenas carbonadas

¿Por qué hay tantos compuestos del carbono? El carbono tiene como estructura electrónica C: 2, 4, por lo que le faltan cuatro electrones para completar la segunda capa electrónica. La forma más sencilla de hacerlo es compartir cuatro electrones con otros átomos, de manera que la molécula más sencilla que forma es el CH_4 , metano. En las imágenes siguientes puedes ver la forma de compartir electrones y tres modelos moleculares diferentes.



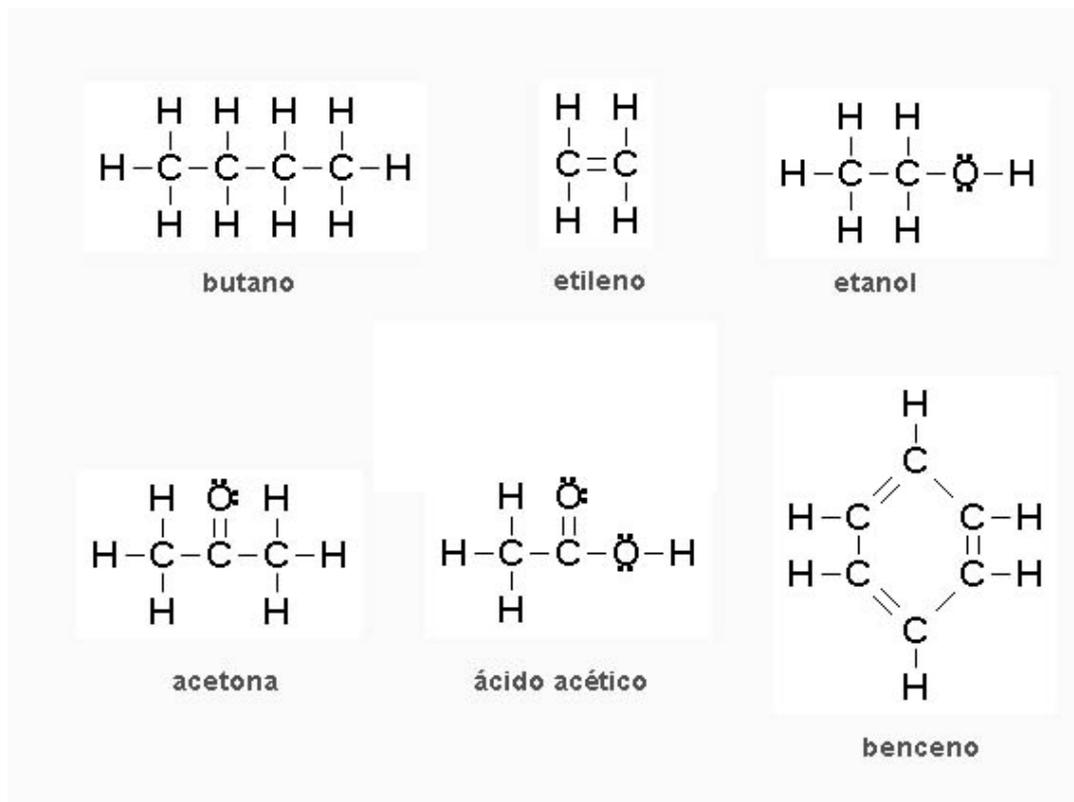
● Electron from hydrogen
● Electron from carbon



Pero si en lugar de unirse con un átomo de H lo hace con otro átomo de C, se forma una cadena de dos átomos de C, $\text{CH}_3\text{-CH}_3$, etano. Y si se sustituye otro H por C, se forma el $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$, propano. Es decir, se forman **cadenas carbonadas**, que pueden llegar a tener miles de átomos de carbono. Observa en la simulación siguiente cómo se pasa del metano al etano, al propano y al butano, alargando la cadena carbonada. Como el resto de los enlaces se realiza con hidrógeno, este tipo de compuestos se llama **hidrocarburos**.

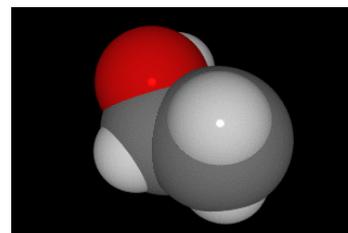
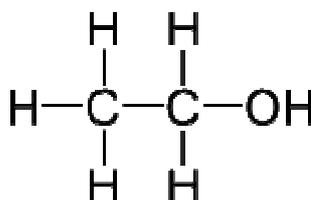
Estructuras electrónicas de Lewis

En la imagen puedes ver las estructuras electrónicas de Lewis de varios compuestos del carbono. Sigue el método que ya conoces para obtenerlas.



Las fórmulas de los compuestos del carbono

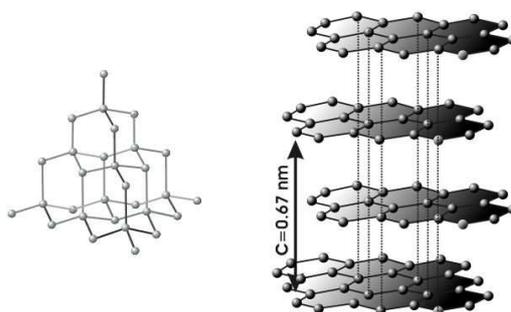
El etanol, o alcohol etílico, es la sustancia presente en las bebidas alcohólicas. Su **fórmula molecular** es C_2H_6O . Así escrita no aporta información sobre cómo están unidos los átomos en la molécula. Por esa razón se usa la **fórmula semidesarrollada**, que en este caso es CH_3-CH_2OH , en la que se



indican los enlaces de la cadena, y la **fórmula desarrollada**, en la que se detallan todos los enlaces entre átomos, como puedes ver en la imagen junto con un modelo molecular animado.

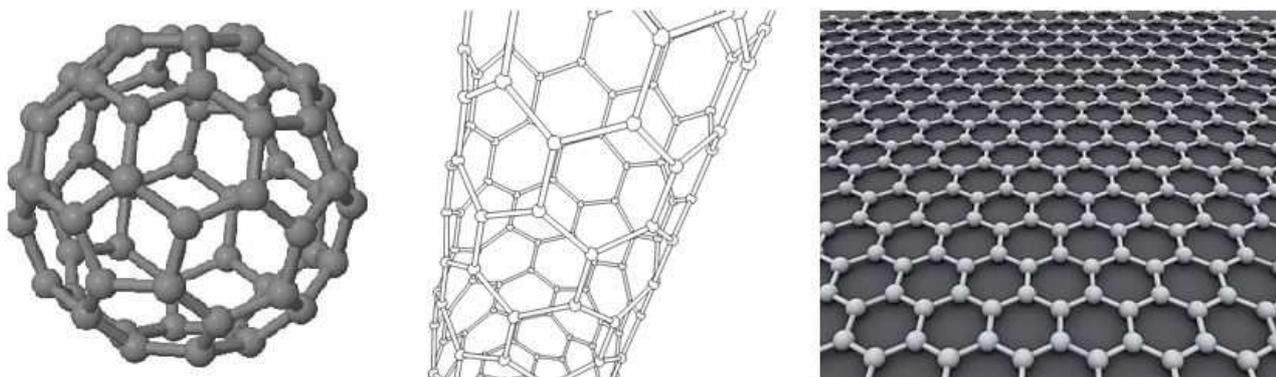
Formas alotrópicas del carbono

Ya has visto que el carbono se presenta en la naturaleza en forma de **diamante**, formando una estructura gigante en la que solamente hay átomos de carbono unidos entre sí mediante enlaces covalentes. Como son enlaces muy intensos entre los átomos, son difíciles de romper, y el diamante es la sustancia más dura en la escala de Mohs. Su uso principal es tanto en joyería como en herramientas de corte.



También se presenta en otra forma cristalina, el **grafito**, con anillos hexagonales de átomos de carbono, unidos por enlaces sencillos o dobles de forma alternada. Se forman láminas de anillos unidas entre sí por fuerzas más débiles, parecidas a las intermoleculares (cada lámina se puede considerar como una molécula muy grande), por lo que la dureza del grafito es menor. Se usa como conductor de la corriente eléctrica, para fabricar minas de lápiz, etc.

En los últimos años se han descubierto otras estructuras más complejas y que van a tener sin duda gran importancia en la tecnología: los **fullerenos** (más conocidos como futbolenos, debido a su forma de balón de fútbol), los **nanotubos de grafito** (láminas de grafito formando tubos) y, sobre todo, el **grafeno** (lámina monoatómica de grafito) cuyo uso va a revolucionar los sistemas informáticos y de comunicaciones en los próximos años.



Y todavía hay que considerar que el carbono forma **carbones** (hulla, antracita, lignito y turba), materiales de origen natural formados a partir de materia orgánica, en los que los átomos de carbono no tienen una estructura cristalina definida, y contienen más o menos impurezas de otros elementos.

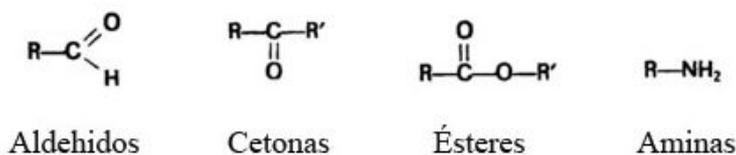
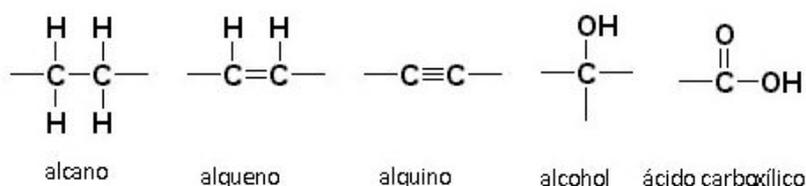


Su uso principal es como fuente de energía, ya desde la antigüedad y sobre todo desde la Revolución Industrial de finales del siglo XVIII.

8. Nomenclatura y formulación

Los elementos fundamentales de los compuestos del carbono son el **carbono** y el **hidrógeno**, pero también son frecuentes el **oxígeno** en alcoholes, éteres, aldehídos, cetonas, ácidos y ésteres, y el **nitrógeno** en aminas.

Este curso solamente vas a aprender a nombrar y formular tres tipos de sustancias: **hidrocarburos**, **alcoholes** y **ácidos** y a reconocer los otros cuatro tipos de compuestos.



Como puedes ver, hay tres tipos de hidrocarburos: alcanos, con enlaces sencillos entre átomos de carbono; alquenos, si hay algún enlace doble, y alquinos, con al menos un enlace triple.

La parte de la molécula característica de los alcoholes (el **grupo funcional**) es el grupo -OH, mientras que la de los ácidos es el grupo -COOH.

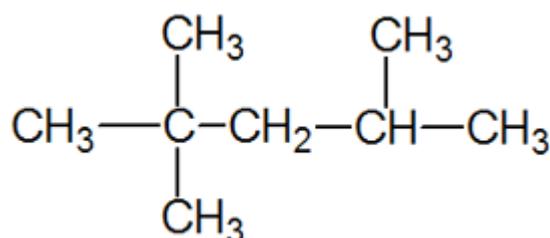
Las cadenas carbonadas se nombran con un **prefijo** que tiene en cuenta el número de átomos de la cadena y con un **sufijo** que indica el tipo de compuesto.

Átomos de C	Prefijo	Tipo de compuesto	Sufijo
1	met-	alcano	-ano
2	et-	alqueno	-eno
3	prop-	alquino	-ino
4	but-	alcohol	-ol
5	pent-	ácido	-oico
6	hex-		
7	hept-		
8	oct-		

Las cadenas carbonadas pueden ser lineales o ramificadas como la de la figura. Para nombrar la sustancia solamente hay que tener en cuenta la ramificación (-CH₃ se llama metilo y **se nombra metil**, y -CH₂-CH₃ se llama etilo y **se nombra etil**) y el número de orden del carbono en el que se encuentra.

Posición del grupo funcional y de los sustituyentes

En los alquenos, los alquinos y los alcoholes hay que indicar la posición del enlace múltiple o el grupo-OH. Si hay ramificaciones, también hay que indicar su posición. Se trata de que esos indicadores de posición tengan el menor número posible, comenzando a contar por el lado de la molécula que sea necesario. En todo caso, **tiene preferencia el número de posición menor del grupo funcional** (enlace múltiple o -OH).



El hidrocarburo ramificado de la imagen recibe el nombre de 2,2,4-trimetilpentano.

En la simulación puedes ver diferentes hidrocarburos, alcoholes y ácidos, además de otros tipos de compuestos. Puedes girar las moléculas pulsando sobre ellas con el ratón, y también modificar su tamaño. Fíjate en las alternativas para indicar la posición del grupo funcional en los alcoholes

Fíjate en las alternativas para indicar la posición del grupo funcional en los alcoholes (propan-1-ol o bien 1-propanol) y en el nombre vulgar de algunas sustancias (ácido etanoico o acético).

En las imágenes siguientes tienes las fórmulas y nombres de algunos alcoholes y ácidos carboxílicos.

CH ₃ OH	Metanol	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{COH} - \text{CH}_3 \end{array}$	2-metil-2-propanol
CH ₃ - CH ₂ OH	Etanol		
CH ₃ - CHOH - CH ₃	2-propanol		
CH ₃ - CH ₂ -CH ₂ OH	1-propanol	CH ₂ OH - CHOH - CH ₂ OH	1,2,3-propanotriol (glicerina)
HCOOH	Ácido metanoico (ácido fórmico)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -COOH	Ácido butanoico (ácido butírico)
CH ₃ - COOH	Ácido etanoico (ácido acético)	HOOC - COOH	Ácido etanodioico (ácido oxálico)
CH ₂ = CH - COOH	Ácido 2-propenoico (ácido acrílico)	CH ₃ -CHOH - COOH	Ácido 2-hidroxiopropanoico (ácido láctico)

9. Hidrocarburos y fuentes de energía

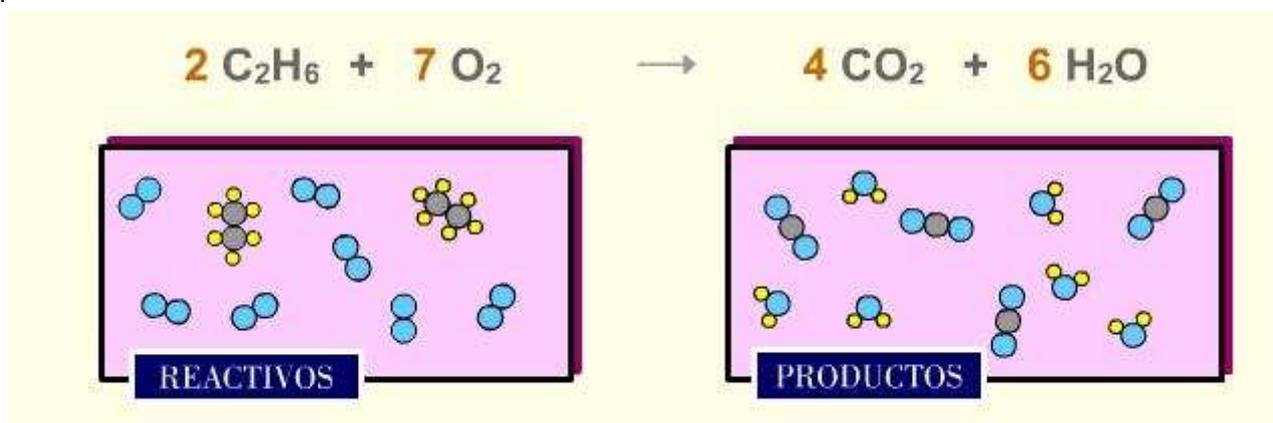
Los hidrocarburos se utilizan como **fuentes de energía**, obtenida mediante reacciones de combustión. Se trata de reacciones exotérmicas, y la energía desprendida en forma de calor se puede utilizar directamente, como sucede en los quemadores de gas que se usan para cocinar, o bien se puede transformar en energía mecánica en los motores de los automóviles o en energía eléctrica en las centrales térmicas.



En las reacciones de combustión de los compuestos del carbono reacciona un compuesto del carbono, que es el combustible, con oxígeno, formándose dióxido de carbono y agua. Además, se desprende una muy apreciable cantidad de energía en forma de calor, por lo que se trata de una reacción exotérmica.

Por ejemplo, al quemar 1 kg de butano se desprende una cantidad de energía en forma de calor que podría elevar 10,9 °C la temperatura de 1000 litros de agua.

En la imagen tienes ajustada la reacción de combustión del etano y su representación a escala de partículas.

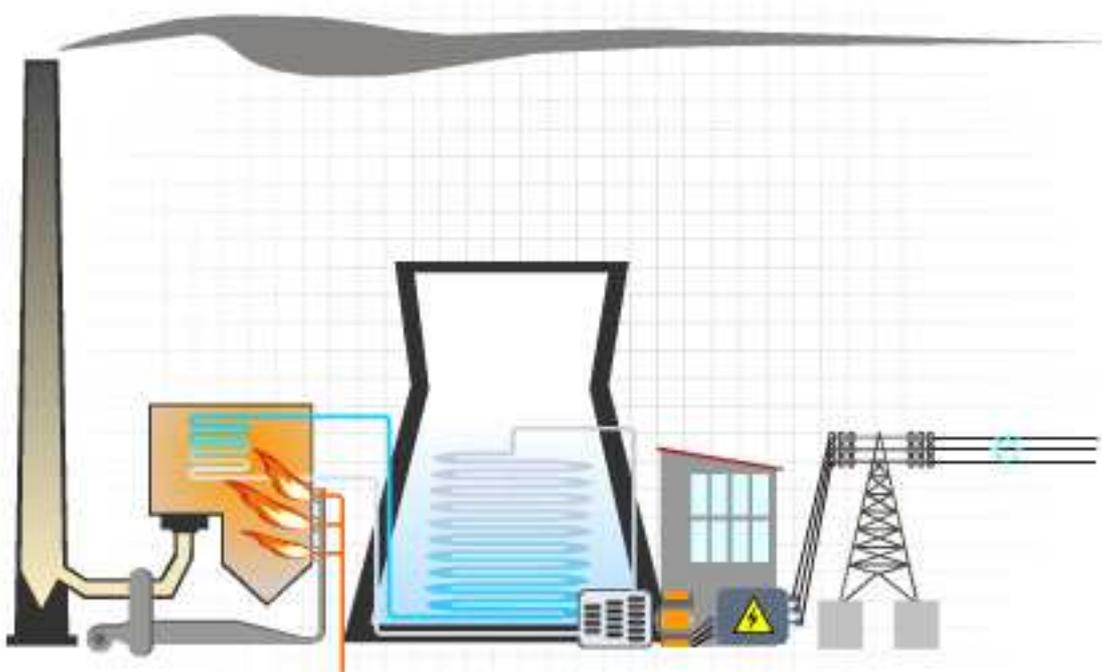


El principal problema que tienen los combustibles tradicionales como el carbón y los derivados del petróleo es que la cantidad que hay en la Tierra es limitada: son fuentes de energía no renovables.

Como la necesidad de energía se va incrementando año a año debido a la mejora de la calidad de vida y al desarrollo de países muy poblados (India y China fundamentalmente), es necesario desarrollar otras fuentes de energía que no se basan en la combustión, tales como la eólica (España es una potencia mundial en este sector), la fotovoltaica, la hidráulica, etc.

En las **centrales térmicas** se quema un combustible como carbón, gas ciudad (el componente mayoritario es metano) o gasoil. El calor desprendido vaporiza agua, y ese vapor a alta presión hace girar una turbina, con lo que se genera corriente eléctrica.

En la simulación puedes ver el funcionamiento de una central termoeléctrica.



Es importante que te fijes en que las centrales térmicas tienen dos tipos de chimenea: una estrecha y muy alta, y otras más anchas y de menor altura. La alta libera un penacho de humo oscuro, producido al quemarse el combustible: vapor de agua, dióxido de carbono y combustible mal quemado.

Las chimeneas anchas son torres de refrigeración, y vierten a la atmósfera el vapor de agua producido en el circuito de refrigeración del quemador. En estas centrales se consume una gran cantidad de agua, y por eso deben estar situadas cerca de ríos caudalosos.



En la imagen tienes una vista general de la central térmica de Andorra (Teruel).

Tema 2. Reacciones químicas

¿Qué sucede cuando quemamos madera, carbón, butano o la cera de una vela? ¿Y al añadir ácido sulfúrico concentrado a azúcar? Fíjate en las imágenes: en el caso de las combustiones, desaparece la sustancia que se quema, el combustible, y no hay forma de recuperarla, mientras que el azúcar queda carbonizado y tampoco se puede volver a obtener a partir de las sustancias obtenidas.

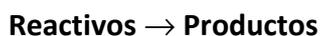
En estos casos se han producido dos **reacciones químicas**, que se caracterizan porque unas sustancias se transforman en otras diferentes.



Identificación de reacciones químicas

Para saber si se ha producido una reacción química, tienes que fijarte en si has observado alguno de los **efectos siguientes**: explosión, llama, formación de sólidos, desprendimiento de gas o cambio de color.

Las sustancias que desaparecen en una reacción se llaman **reactivos**, y las que se forman, **productos**. La transformación se simboliza con una flecha, con lo que una reacción química se representa como:



Ten en cuenta que es posible que antes de producirse una reacción haya productos: cuando se quema un trozo de carbón, se forma dióxido de carbono, que ya se encuentra previamente en la atmósfera en la que se produce la reacción.

Y también sucede con frecuencia que no todos los reactivos se agotan en el proceso, y que sobra alguno de ellos. Continuando con el ejemplo anterior, después de quemarse el trozo de carbón sobra oxígeno atmosférico sin reaccionar. El carbón es el **reactivo limitante** y el oxígeno, el **reactivo en exceso**.

Ecuaciones químicas

Son **representaciones del proceso real que se produce**, en las que se detallan las fórmulas de reactivos y productos y se especifica el estado físico de las sustancias (sólido, líquido, gaseoso o en disolución acuosa).

Fíjate en el vídeo. Observa que el sodio flota en el agua, ya que es menos denso, y que reacciona con ella, produciendo gas y ¡una llama sobre el agua!

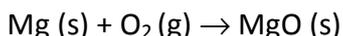
La ecuación que representa la reacción es $\text{Na (s)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow \text{NaOH (aq)} + \text{H}_2 \text{(g)}$

El gas desprendido es hidrógeno, y se forma una disolución acuosa de hidróxido de sodio

Tipos de reacciones

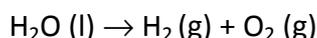
Síntesis

En las reacciones de síntesis se obtiene una sustancia a partir de otras más sencillas.



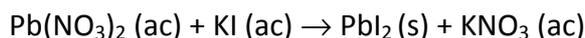
Descomposición

En las reacciones de descomposición se obtienen varias sustancias a partir de una más compleja.



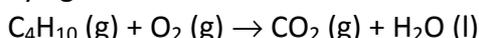
Sustitución

En las reacciones de sustitución se intercambian los grupos de átomos que forman dos sustancias. En esta reacción se forma un sólido amarillo muy poco soluble (ioduro de plomo), que precipita al fondo del recipiente.



Combustión

En las reacciones de combustión una sustancia llamada combustible reacciona con oxígeno, formándose dióxido de carbono y agua.



Ecuaciones y reacciones

Una reacción es un cambio, una transformación de sustancias: **las ecuaciones son representaciones del proceso**, no son la reacción. Es decir, una reacción no es algo real que existe.

1. Leyes de las reacciones químicas

Cuando se produce una reacción química, se observa experimentalmente que disminuye la masa que hay de unas sustancias, los reactivos, y aumenta la de otras, los productos.

Ahora vas a trabajar precisamente con esas cantidades. ¿Qué masa desaparece de reactivos? ¿Qué masa se forma de productos? ¿Hay alguna relación entre esas masas?

Lavoisier ya estableció esa relación en su Tratado elemental de Química (1789), después de una gran cantidad de medidas experimentales.

Ley de conservación de la masa (Lavoisier, 1789)

Cuando se produce una reacción química, la masa que se forma de productos es la misma masa que desaparece de reactivos: las sustancias se transforman unas en otras, pero la masa total no cambia.

Ley de las proporciones constantes

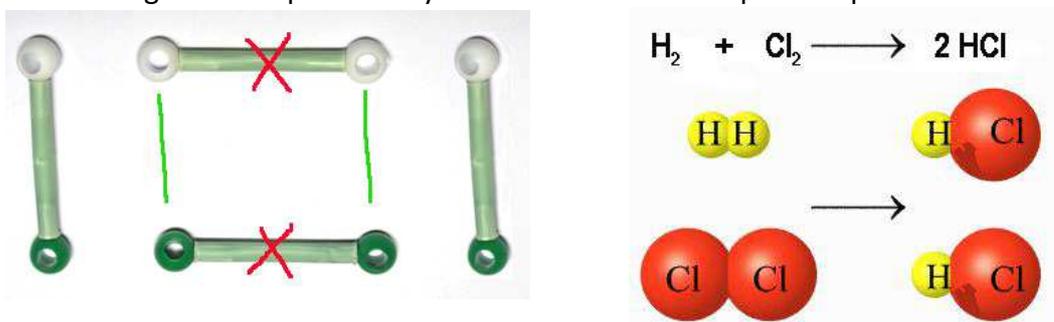
Cuando se combinan dos o más sustancias en una reacción química, lo hacen siempre en la **misma proporción en masa** (proporción constante).

1.1 Interpretación de las ecuaciones químicas

Experimentalmente se observa que en las reacciones químicas desaparecen los reactivos y se forman los productos. Pero, ¿cómo se producen las reacciones desde el punto de vista de las partículas que forman las sustancias?

Diagramas de partículas

Fíjate en cómo se produce la reacción de síntesis del ácido clorhídrico. En la imagen puedes ver los modelos moleculares de H_2 , Cl_2 y HCl (H blanco y Cl verde). En rojo se marcan los enlaces que se rompen y en verde los que se forman cuando se produce la reacción. También se representa la reacción con diagramas de partículas y mediante la ecuación química que la simboliza.



En la ecuación química se especifica que reacciona una molécula de H_2 con una de Cl_2 para formar dos de HCl . Esos tres números (1, 1 y 2) se llaman **coeficientes estequiométricos**, e **indican la proporción de partículas de cada tipo que interviene en el proceso**.

¡Pero si son los mismos átomos!

A escala de partículas, una **reacción química consiste en una reorganización de átomos**, que dejan de estar unidos de una forma y pasan a estar unidos de otra. Pero como se trata de los mismos átomos, la masa total de las distintas sustancias es la misma: **se conserva la masa**.

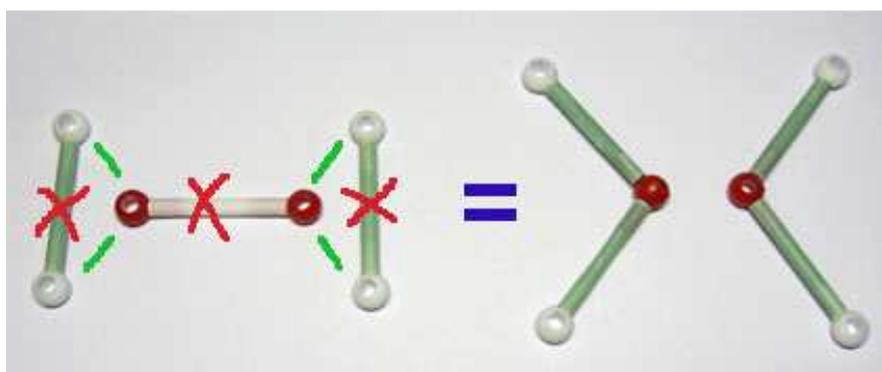
Los coeficientes estequiométricos

Una molécula de Cl_2 reacciona con una de H_2 para formar dos de HCl . Pero esto es lo mismo que decir que dos de Cl_2 reaccionan con dos de H_2 para formar cuatro de HCl . Y que tres de Cl_2 reaccionan con tres de H_2 para formar seis de HCl . Fíjate en que en todos los casos la proporción de combinación es la misma: una partícula de Cl_2 reacciona por cada una de H_2 para formar dos de HCl .

En la ecuación química **se escriben los coeficientes más sencillos** (1, 1 y 2 en este caso). Si interviene una partícula no se escribe el uno, ya que la misma fórmula de la sustancia indica que hay una partícula.

En la simulación puedes ver la síntesis del agua. ¿Cuántas moléculas hay de reactivos (H_2 y O_2) y cuántas se forman de productos (H_2O)?

La reacción se escribe $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$. Esto significa que reaccionan dos moléculas de hidrógeno por cada una de oxígeno para formar dos de agua. Que equivale a decir que reaccionan cuatro moléculas de hidrógeno con dos de oxígeno para formar cuatro de agua, que es lo que precisamente sucede en la simulación.



Fíjate también en la forma de producirse la reacción: se rompe un doble enlace $O=O$ y dos enlaces sencillos $H-H$, formándose cuatro enlaces sencillos $O-H$.

El número de partículas

Ten en cuenta que, en general, **en las reacciones químicas no se conserva el número de partículas**. Sí lo hace en la reacción de formación del HCl (una molécula de H_2 y una de Cl_2 producen dos de HCl , desapareciendo dos moléculas y formándose otras dos), pero no en la formación del agua, en la que a partir de dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno se forman solamente dos moléculas de agua.

1.2 Ajuste de ecuaciones químicas

Para poder trabajar con reacciones químicas, en primer lugar hay que escribir la ecuación que las representa y, después, ajustarlas.

Cuando **la ecuación de una reacción está ajustada, hay el mismo número de átomos de cada tipo en reactivos y en productos, pero unidos de una forma distinta**, por lo que las sustancias son diferentes: los reactivos se han transformado en productos.

2. La cantidad de sustancia

El tamaño de los átomos, moléculas o iones es extraordinariamente pequeño, y por eso hay una cantidad enorme en una masa tan pequeña como un gramo (¡nada menos que $9,48 \cdot 10^{21}$ átomos de Cu en un gramo de Cu!). Precisamente por ser tan pequeños es imposible aislarlos, contarlos o pesarlos.

¿Cuántos átomos de cobre hay?



Fíjate en que cuando se estudian las transformaciones de sustancias, las reacciones químicas, se está hablando continuamente de partículas (una molécula de oxígeno reacciona con dos de hidrógeno para formar dos moléculas de agua). Pero en el laboratorio no podemos contar partículas: lo único que podemos es pesar sustancias y medir volúmenes.

Precisamente se define la magnitud **cantidad de sustancia** para poder relacionar masas o volúmenes de sustancias, que se pueden medir a escala macroscópica, con el número de partículas que hay en esa cantidad, que es lo que interesa saber desde el punto de vista de las reacciones químicas y que, como ya sabes, no es posible contar.

masa \leftrightarrow cantidad de sustancia \leftrightarrow número de partículas

De las siete magnitudes fundamentales que tiene el Sistema Internacional es la única magnitud química, porque las otras seis son físicas (longitud, masa, tiempo, temperatura, intensidad de corriente eléctrica e intensidad luminosa).

La cantidad de sustancia

Su unidad es el **mol**, que se define como "**la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos de carbono hay en 0.012 kg de carbono-12**" (IUPAC 1967, BOE de 3-11-1989). El término entidad elemental se refiere a partículas, que pueden ser átomos, moléculas o iones.

La **magnitud cantidad de sustancia** se simboliza por **n**, mientras que su **unidad mol** no tiene abreviatura, y se escribe mol.

¿El número de moles?

De esta forma, se puede decir **$n(\text{agua}) = 2 \text{ mol}$** , que significa que **la cantidad de sustancia de agua es de 2 mol** (ó 2 moles).

Es incorrecto decir que el número de moles es 2. Por ejemplo, cuando se mide la longitud de una mesa se escribe $l(\text{mesa}) = 1,5 \text{ m}$, que significa que la longitud de la mesa es de 1,5 m, no que el número de metros de la mesa sea 1,5. Sin embargo, es extraordinariamente frecuente encontrar la expresión "el número de moles es" en lugar de "la cantidad de sustancia es".

La masa molar y la masa de una partícula

La masa molar de una sustancia (M) es la masa en gramos que tiene un mol de esa sustancia. Se mide en g/mol.

Es muy fácil saber su valor, ya que M coincide numéricamente con la masa relativa de la partícula, aunque tiene un significado diferente: si la masa relativa del CO₂ es 44, su masa molar M es 44 g/mol.



Y como **en un mol de cualquier sustancia hay el número de Avogadro de partículas, N_A (6,023.10²³), que tienen una masa de M (masa molar)**, es sencillo calcular la masa de una partícula de la sustancia: no tienes mas que hacer el cociente entre la masa total y el número de partículas por mol.

Para calcular masas y números de partículas

$$n = \frac{m}{M} ; N = n N_A$$

n=cantidad de sustancia

m=masa de sustancia

M=masa molar

N=número de partículas

N_A=número de Avogadro

Debes tener mucho cuidado a la hora de aplicar estas fórmulas, porque si no tienes las ideas claras, puedes confundirte fácilmente: fíjate en que los símbolos de las magnitudes son letras *ene* y *eme*, mayúsculas o minúsculas, y hasta con subíndices: es más recomendable **utilizar proporciones o factores de conversión** para determinar las magnitudes que necesites

Lo fundamental que debes tener presente siempre es que **en un mol de cualquier sustancia hay N_A partículas (número de Avogadro) y su masa es de M gramos (masa molar)**.

Medidas de masa en el agua

La masa relativa del agua, m_r, es 18, y significa que una molécula de agua tiene una masa 18 veces mayor que la masa unidad. Mientras no se sepa cuál es el valor de esa masa unidad, no hay forma de saber la masa de la molécula de agua, que se indica como 18 u, donde u es la masa real de la unidad de masa atómica.

Pero como ya se sabe que la masa unidad es de 1,667 10⁻²⁴ g, la **masa real** de la molécula de agua es de 18 veces 1,667 10⁻²⁴ g. Este número no tiene ninguna utilidad en Química desde el punto de vista práctico, porque no se puede disponer de moléculas de agua aisladas.

Si en un vaso echas el número de Avogadro de moléculas de agua, ¿qué masa de agua tienes? Evidentemente, será la **masa molar**, es decir, la masa de una molécula multiplicada por el número de moléculas que hay en un mol de sustancia:

$$18 \cdot 1,667 \cdot 10^{-24} \text{ g/molécula} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 18 \text{ g/mol}$$

Fíjate en que el resultado numérico es 18. Es decir, el número de la masa relativa se mantiene en la masa real y en la masa molar, aunque tiene significados diferentes en los tres casos.

$$m_r(\text{H}_2\text{O}) = 18 \quad m(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ u} \quad M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g/mol}$$

¿Por qué el número de Avogadro es $6,023 \cdot 10^{23}$?

Para mantener el mismo número para la masa relativa, la masa real y la masa de un mol (masa molar, M), aunque el significado de las tres magnitudes es diferente.

Su valor, $6,023 \cdot 10^{23}$, es exactamente el inverso de la unidad de masa atómica, $1,669 \cdot 10^{-24} \text{ g}$.

3. Cálculos en reacciones químicas

Ahora ya sabes representar reacciones químicas mediante ecuaciones, y también sabes ajustarlas, entendiendo el significado de los coeficientes estequiométricos.

En primer lugar vas a hacer cálculos en número de partículas, interesantes desde el punto de vista de la comprensión de las reacciones químicas. Solamente tienes que escribir la ecuación de la reacción y ajustarla. Una vez que sepas cuántas partículas de cada tipo pones en contacto podrás determinar las que reaccionan, las que se forman y las que quedan sin reaccionar.

3.1 Ecuaciones químicas y cálculos en masa

Este es el aspecto realmente práctico. Por ejemplo, para saber en una industria metalúrgica cuánto hierro se obtiene por kilogramo de óxido de hierro que reacciona. Ese hierro se utilizará después para obtener acero, con el que se fabrican objetos de todo tipo como tubos, depósitos para líquidos, cuberterías, etc.



¿Cuánto CO₂ se produce al quemar carbón?

La ecuación es muy sencilla y ya está ajustada: reacciona una molécula de oxígeno por cada átomo de carbono, y se forma una molécula de dióxido de carbono, que es lo mismo que decir que un mol de C reacciona con un mol de O₂ para formar un mol de CO₂.

Con los datos de las masas atómicas relativas, puedes calcular las masas molares de cada una de las tres sustancias, que sumando las masas atómicas relativas son, respectivamente, de 12, 32 y 44 g/mol.

Por tanto, puedes decir que 12 g de C reaccionan con 32 g de O₂ para formar 44 g de CO₂.

Para calcular la masa de CO₂ formada, puedes aplicar la ley de las proporciones constantes o bien utilizar un factor de conversión:

$$\frac{12 \text{ g de C}}{44 \text{ g de CO}_2} = \frac{1000 \text{ g de C}}{m}; m = 3666,7 \text{ g de CO}_2$$
$$m = 1000 \text{ g de C} \frac{44 \text{ g de CO}_2}{12 \text{ g de C}} = 3666,7 \text{ g de CO}_2$$

Cálculos estequiométricos en masa

¿Cómo puedes realizar estos cálculos utilizando las ecuaciones que representan a las reacciones que se producen? **Para determinar la masa de una sustancia que interviene en una reacción química debes seguir cuatro pasos:**

- 1) Escribe y ajusta la ecuación de la reacción.
- 2) A partir de la ecuación ajustada, sabes la proporción de combinación en cantidades de sustancia entre los reactivos o productos que te interese en cada caso.
- 3) Determina la masa molar de las sustancias de las que te dan datos o te piden resultados.
- 4) Aplica la ley de las proporciones constantes, directamente o con factores de conversión, para calcular la masa de sustancia que tengas que determinar.

3.2 Resolviendo problemas

En las situaciones reales te puedes encontrar con los casos siguientes, que pueden darse a la vez:

Reactivos en disolución

Como sabes su composición en gramos o moles por litro y te darán el volumen de disolución que añades, determinarás la masa o la cantidad de sustancia de reactivo que hay disponible.

Reactivos impuros

Sabiendo el porcentaje de pureza determinarás la masa de reactivo de que realmente dispones.

Reactivos en exceso

Se debe a que se consume totalmente otro, por lo que tienes que determinar previamente cuál es el reactivo limitante y cuál está en exceso.

4. Velocidad de reacción

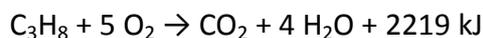
Seguro que sabes que los alimentos se conservan en frigoríficos para que duren más tiempo sin estropearse, pero ¿sabes la razón? ¿Y por qué agitas con la cucharilla para que se disuelva el azúcar? ¿Qué es y cómo actúa un conservante?

Es muy importante conocer los **factores que afectan a la velocidad de las reacciones químicas**. En la mayoría de los casos interesa acelerar las reacciones químicas, como ocurre en la fabricación industrial de productos, en la curación de una herida o una enfermedad, o en el crecimiento de las plantas. Pero hay también casos en los que lo que interesa es retardar una reacción perjudicial, como, por ejemplo, la corrosión del hierro y otros metales, la putrefacción de alimentos, la caída del cabello, etc.

Intercambios de energía en las reacciones químicas

Recuerda la reacción del sodio con el agua: es muy rápida y en ella se produce un gran desprendimiento de calor e incluso una llama sobre el agua. Las reacciones que producen un aumento de temperatura en el recipiente de reacción y en su entorno se llaman **exotérmicas**.

Las reacciones exotérmicas se utilizan como fuente de energía en forma de calor; las más conocidas son las combustiones, por ejemplo la del propano.



Es decir, cuando se quema un mol de propano (44 g) se producen 2219 kJ de energía en forma de calor, que calienta el recipiente en que se produce la reacción y hace que poco a poco se caliente también el entorno.

Factores que afectan a la velocidad de una reacción química

Para conseguir que una reacción química sea lo más rápida posible debes:

- pulverizar los sólidos.
- utilizar disoluciones concentradas.
- trabajar a temperaturas lo más altas posible.

Catalizadores

Se trata de sustancias que modifican la velocidad de las reacciones, aumentándola o disminuyéndola (en este caso se llaman inhibidores). Aunque intervienen en el proceso, ya que modifican su velocidad, no cambian la reacción ni se consumen en ella. Es característico el efecto del MnO_2 (s) sobre la descomposición del agua oxigenada, que puedes ver en el vídeo, así como el efecto de los conservantes alimentarios.

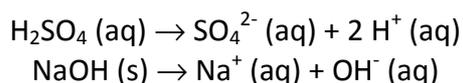
La investigación y búsqueda de catalizadores e inhibidores resulta de extrema importancia desde el punto de vista económico.

5. Ácidos y bases

Los ácidos y las bases son sustancias muy habituales, que se diferencian en función de sus propiedades experimentales (sabor, reactividad, capacidad para colorear disoluciones, ...).

Modelos ácido-base

El modelo inicial y más sencillo para caracterizar estos tipos de sustancias es el de Arrhenius: **ácidos** son aquellas sustancias que **producen iones H^+** en disolución acuosa, mientras que las **bases producen iones OH^-** . Por tanto, son procesos en disolución.



La reacción de neutralización

Cuando un ácido reacciona con una base, sus efectos se anulan y se dice que se neutralizan. Si las cantidades que se mezclan son las estequiométricas (no sobra ácido ni base), la disolución resultante es neutra.



En realidad, la reacción de neutralización es $H^+ (aq) + OH^- (aq) \rightarrow H_2O$.

Medida de la acidez de las disoluciones

Se utilizan **indicadores**, que son sustancias que toman un color diferente según sea la acidez de la disolución. El tornasol toma color rojo en disoluciones ácidas y azul en básicas.

Una medida cuantitativa la da el **pH** de las disoluciones, que es de 7 para disoluciones neutras, menor para disoluciones ácidas y mayor para disoluciones básicas. Una disolución es ácida si su pH es menor de 7, y más ácida cuanto menor sea el pH. Es un valor relacionado con la concentración de iones H^+ que hay en una disolución.

Disolución	pH
ácida	<7
neutra	7
básica	>7

El papel pH

Se trata de un papel absorbente que se fabrica impregnándolo en indicador universal. De esta forma, cuando se moja con una disolución, toma el color del indicador para el pH de la disolución, que se puede saber sin más que comparar el color del papel con el de la escala.



Rojo: pH ácido

Azul: pH básico

6. Aplicaciones

La lluvia ácida

Uno de los efectos más nocivos producidos por los ácidos en el medio ambiente es la lluvia ácida.

El efecto invernadero y el CO₂

Además de la contaminación que puede producir la expulsión de humos con combustible mal quemado, en las combustiones se forma inevitablemente CO₂. Este es el gas con peor fama hoy día, a pesar de que es totalmente inocuo. Tanto, que las personas lo producimos en los pulmones cuando se producen en nuestro cuerpo las reacciones químicas que llamamos "vida", y lo expulsamos al espirar. Incluso las plantas lo utilizan en la fotosíntesis para sintetizar material vegetal y liberar oxígeno a la atmósfera.

¿Y por qué lleva tan mala fama? Pues porque es el gas que contribuye en mayor medida al efecto invernadero. ¡Y es que este efecto también lleva una fama nefasta!

Si no hubiera efecto invernadero, la temperatura media de la Tierra sería casi 30 °C inferior a los 14 °C de media actual, con lo que sería imposible la vida tal como la conocemos. ¡Luego es un fenómeno absolutamente imprescindible!



El problema viene dado por el exceso de gases de efecto invernadero en la atmósfera, ya que se incrementa su efecto y la temperatura media de la Tierra va ascendiendo, con efectos que hoy en día no son totalmente conocidos: alteración del clima, desaparición de los casquetes polares, aumento del nivel de los océanos, etc.

Medidas para reducir el efecto invernadero

Desde hace años hay reuniones internacionales para intentar llegar a acuerdos globales que reduzcan el efecto invernadero, pero que no producen efectos a corto plazo. Sobre todo, pretenden reducir las cuotas de emisión de CO₂ a la atmósfera.

La deforestación incrementa el efecto invernadero, ya que no se elimina CO₂ de forma natural, y hay que buscar mecanismos artificiales: se están estudiando depósitos de CO₂, la construcción de árboles sintéticos, etc.

En España, los automóviles que emiten menos CO₂ (por consumir menos combustible) tienen un menor impuesto de matriculación.

En las centrales térmicas se han instalado sistemas de absorción de CO₂ en las torres de humos para formar carbonatos sólidos.

Tabla Periódica de los Elementos

1 IA New Original	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA		
1 H 1.00794	2 He 4.002602	3 Li 6.941	4 Be 9.012182	5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180	11 Na 22.989770	12 Mg 24.3050	13 Al 26.981538	14 Si 28.0855	15 P 30.973761	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948		
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.90447	54 Xe 131.293
55 Cs 132.90545	56 Ba 137.327	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 to 103 (227)	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.227	78 Pt 195.078	79 Au 196.96655	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98038	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
107 Bohrio (264)	108 Hsio (289)	109 Mt (288)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus (293)	118 Uuo (294)	119 Uuq (289)	120 Uup (288)	121 Uuh (292)	122 Uus (293)	123 Uuo (294)	124 Uuq (289)	125 Uup (288)	126 Uuh (292)

C Solid
Br Liquid
H Gas
Tc Synthetic

Alcalinos
Alcalinotérreos
Metales de transición
Lantánidos

Actínidos
Metales del bloque p
No metales
Gases nobles

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

57 La 138.905	58 Ce 140.116	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92534	66 Dy 162.500	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967
89 Ac (227)	90 Th 232.0381	91 Pa 231.03688	92 U 238.02891	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

Design Copyright © 1997 Michael Dajani (michael.dajani@yahoo.com), http://www.dajani.com/periodic/

Tema 3. Movimientos

El movimiento es uno de los fenómenos físicos que se aprecian claramente si observas el mundo que te rodea. Ves el movimiento de las personas, de los automóviles, del Sol y de la Luna, de los cuerpos que caen..... Todos ellos siguen unas leyes, sencillas en los casos más habituales, que se pueden expresar mediante ecuaciones matemáticas llamadas **ecuaciones del movimiento**.

En este tema se van a plantear algunos problemas físicos de gran interés relacionados con la posición que ocupan los móviles, los cambios de posición que experimentan y la rapidez con la que se producen, así como con las modificaciones en la velocidad que llevan.

Fíjate en la imagen de **un partido de baloncesto**. La jugadora que lanza se está moviendo, el balón vuela hacia la canasta, las demás jugadoras toman posiciones para un posible rebote; en resumen, todo es movimiento. Cuando se lanza a canasta, hay que tener en cuenta muchos factores para lograr el objetivo, que es encestar. Lo fundamental es saber dónde está la pelota cuando se hace el tiro, así como la posición de la canasta. Dependiendo de esos valores, la jugadora decide lanzar con más o menos velocidad y con un ángulo u otro.



En este curso solamente vas a trabajar con **movimientos rectilíneos** y con **movimientos circulares**, en los que el tratamiento matemático es muy sencillo, pero lo que aprendas lo utilizarás en casos más complejos -como movimientos en el plano en el baloncesto- si sigues estudiando Física en el futuro.

1. El movimiento

Imagina que estás sentado en un banco del parque. ¿Estás en reposo o no? Todo indica que sí, pero en la imagen puedes ver que la Tierra gira sobre sí misma. Y dado que tú te mueves como la Tierra, ¡también te estás moviendo!



Si te sientas como copiloto dentro de un automóvil que circula por una carretera ¿te estás moviendo? La respuesta no es tan sencilla como parece: si es por la noche y solamente miras dentro del coche, resultará difícil saber si el coche se mueve o no. Sin embargo, durante el día solamente tienes que mirar por la ventanilla.

Para saber si hay movimiento siempre debes hacer lo mismo: tienes que fijarte en si tu posición cambia respecto de un objeto que está o consideras fijo.

En los casos anteriores, ese **sistema de referencia** puede ser un árbol situado en la cuneta de la carretera o una farola del parque. Si tu posición cambia con respecto al sistema de referencia, que está fijo, la conclusión es que eres tú quien se mueve.

Evidentemente, en la Tierra no hay ningún sistema de referencia fijo, ya que además de su movimiento de rotación, se traslada girando alrededor del Sol, que también se mueve dentro de la galaxia. Sin embargo, a todos los efectos se eligen puntos sobre la Tierra como sistemas de referencia fijos.

En todos los casos, para saber si hay movimiento siempre debes hacer lo mismo: tienes que fijarte en si tu posición cambia respecto de un objeto que está o consideras fijo.

Relatividad del movimiento

Habrás observado en la simulación de los coches, que no se ve lo mismo desde fuera que desde dentro de ellos: si visto desde fuera los tres avanzan hacia la derecha, desde dentro del más rápido se ve que los otros dos se van retrasando. Es decir, **el movimiento es relativo y sus características dependen del sistema de referencia que se toma.**

Eso sí, cuando un objeto se mueve lo hace de una forma única, lo que cambia es la forma de describir su movimiento según cuál sea el sistema de referencia elegido.

En resumen, los movimientos que aprecian dos observadores para el mismo objeto que se mueve pueden ser diferentes: no se observa el mismo movimiento desde un sistema de referencia en reposo que desde uno que se mueve.

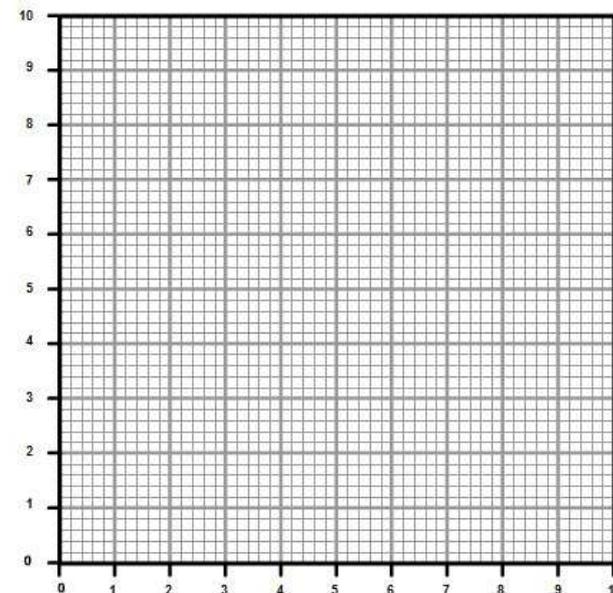
¿Cuándo se mueve un objeto?

Un objeto se mueve cuando cambia su posición con respecto a un sistema de referencia, que se considera fijo.

1.1 Cambios de posición

Para analizar el movimiento de un objeto hay que elegir el sistema de referencia más sencillo, que habitualmente es uno que está en reposo. Ya conoces la forma de situar los puntos en el plano con respecto al eje horizontal x y al eje vertical y , indicando el par de coordenadas (x,y) , que pueden ser negativas si el objeto está a la izquierda o por debajo del origen.

Pero también hay que saber dónde está el objeto mientras se mueve. Para eso, hace falta situarlo, indicando las posiciones por las que va pasando. No tienes más que indicar la posición cero, el origen del sistema de referencia, y marcar los puntos por los que pasa el móvil con respecto a esa posición cero.



Trayectoria

Cuando un objeto cambia su posición, el conjunto de puntos por los que pasa en su movimiento se llama **trayectoria**.

En este curso solamente vas a analizar matemáticamente trayectorias rectilíneas y verás cualitativamente otros tipos de trayectorias.



Espacio recorrido y desplazamiento

¿Cuánto espacio recorre un objeto cuando se mueve? El **espacio recorrido** es la longitud de la **trayectoria** que ha definido el objeto en su movimiento.

El **desplazamiento** tiene otro sentido: se refiere a la diferencia entre las posiciones inicial y final. Se indica con una línea que une las posiciones inicial y final, marcando con una punta de flecha el sentido del desplazamiento desde la una a la otra, como puedes ver en el simulador siguiente.

Si la posición inicial y final coinciden, como sucede cuando lanzas verticalmente un objeto desde el suelo y vuelve al lugar de lanzamiento, o cuando el movimiento es circular, entonces el desplazamiento es cero, pero el espacio recorrido no.



Trayectoria, espacio recorrido y desplazamiento

La **trayectoria** es la línea que une todos los puntos por los que pasa un móvil cuando cambia su posición entre dos puntos.

El **espacio recorrido** por un móvil es la longitud de la trayectoria seguida por el móvil.

El **desplazamiento** es la diferencia entre las posiciones final e inicial del móvil. Coincide con el espacio recorrido en trayectorias rectilíneas en las que el móvil se mueve siempre en el mismo sentido.

2. Velocidad y aceleración

Observa en la imagen la posición que ocupan los corredores. ¿Cuál de ellos es el más rápido? La respuesta es clara: aquél que recorre la mayor distancia en el menor tiempo. Y ése es últimamente Usain Bolt en las carreras de 100 y 200 metros: la imagen corresponde a la final de los Juegos Olímpicos de Pekín 2008.



Para indicarlo se utiliza una magnitud física, **la velocidad**, que **mide la rapidez con que un móvil cambia su posición**. Es decir, cuánto ha cambiado su posición y cuánto tiempo le ha costado realizar ese cambio. En la vida diaria suele medir el espacio que ha recorrido un móvil (un atleta, por ejemplo) en un tiempo determinado. En el Sistema Internacional de unidades se mide en metros por segundo (m/s).

Fíjate en que en una pista de atletismo el desplazamiento y el espacio recorrido coinciden en los 100 m, pero no en los 200 m.

De esta forma, si un coche lleva una velocidad de 30 m/s en un momento determinado, significa que recorrerá 30 metros en cada segundo si mantiene constante esa velocidad.



Pero ¿y si ve un obstáculo en la carretera y frena para evitar el accidente? La velocidad ya no es constante, porque el móvil se desplaza cada vez más despacio, hasta que llega a detenerse. Decimos que lleva aceleración, ya que **la aceleración mide la rapidez del cambio de velocidad**.

¿Qué miden la velocidad y la aceleración?

La **velocidad** mide la rapidez con que un objeto cambia su posición, mientras que la **aceleración** mide la rapidez del cambio de velocidad que experimenta el objeto que se mueve.

2.1 Velocidad

Carácter vectorial de la velocidad

Cuando ves una señal de tráfico como la de la imagen, entiendes que el automóvil no debe superar los 40 kilómetros por hora (40 km/h). Pero el movimiento se puede producir por una calle u otra, en una dirección y sentido o en otros distintos. La velocidad es una **magnitud vectorial**: decir que un móvil lleva una velocidad de 40 km/h no indica más que lo deprisa que va, pero no aporta información sobre la **dirección** y el **sentido** en que se desplaza.

Hay que tener clara esta característica para resolver las situaciones de movimiento que se planteen. Pero este curso solamente vas a analizar movimientos rectilíneos, y en ese caso no es necesario tener en cuenta el carácter vectorial de las magnitudes que se utilizan en el movimiento (posición, velocidad y aceleración).

El valor numérico de la velocidad (su módulo utilizando terminología vectorial) se suele llamar **rapidez**.

Velocidades media e instantánea

Cuando un objeto se mueve, la velocidad que lleva en un momento determinado de su movimiento se llama **velocidad instantánea**. Se entiende por momento un intervalo de tiempo tan pequeño como para que la velocidad se mantenga constante en ese intervalo.

La **velocidad media** indica la velocidad promedio durante un tiempo apreciable, durante el cual la velocidad ha podido modificarse. Por ejemplo, un coche parte de una ciudad A y llega 5 horas

después a una ciudad B, situada a 400 km. La velocidad media es obviamente de 80 km/h (400 km en 5 horas; $400 \text{ km}/5 \text{ h} = 80 \text{ km/h}$). ¿Significa que el marcador del coche siempre ha estado marcando 80 km/h? Evidentemente, no: ha podido ir un poco más deprisa o más lentamente, pararse a descansar, etcétera.

Unidades de la velocidad

Y hablando de coches y motos, su velocidad se suele indicar en **km/h**, en lugar de en **m/s**, que es la unidad del SI. ¿Qué equivalencia hay entre ellas? Fíjate en la siguiente conversión de unidades:

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}; 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Por tanto, si un coche con velocidad constante recorre 20 metros en un segundo, al cabo de una hora habrá recorrido 72 km.

Velocidades media e instantánea

La **velocidad media** relaciona el espacio recorrido por un móvil en un tiempo determinado suficientemente grande; si ese tiempo es pequeño, como puede ser 0,1 s -una décima de segundo-, en ese intervalo de tiempo tan pequeño la velocidad se puede considerar constante y se llama **velocidad instantánea**. Es la que marcan los velocímetros de los coches.

Velocidad en m/s y en km/h

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad 1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para pasar de m/s a km/h solamente hay que multiplicar por el factor de conversión 3,6, mientras que para pasar de km/h a m/s hay que dividir por 3,6.

¿Qué es la velocidad?

Es una magnitud que mide la rapidez con la que un móvil se mueve, es decir, el espacio recorrido por el móvil por unidad de tiempo.

La velocidad es mayor cuanto más distancia recorre el móvil en menos tiempo.

En el SI se mide en metros por segundo (m/s), aunque en la vida diaria es muy habitual medirla en kilómetros por hora (km/h).

Que la velocidad de un móvil es de x m/s significa que si su velocidad no varía recorrerá x metros en cada segundo de su movimiento.

3. Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

Cuando circulas en un vehículo por una larga recta y con el control de velocidad activado, la velocidad instantánea coincide en todo momento con la velocidad media en dicho tramo y no hay aceleración, ya que el valor numérico de la velocidad, su dirección y su sentido no cambian. Este tipo de movimiento se conoce como **movimiento rectilíneo uniforme** y se indica abreviadamente como **MRU**.

Fíjate en que la consecuencia inmediata de la definición de un MRU es que cualquier móvil con este tipo de movimiento **recorrerá espacios iguales en tiempos iguales**.

Características del movimiento rectilíneo uniforme

El MRU se caracteriza porque la velocidad instantánea es constante en magnitud, dirección y sentido.

El objetivo final al estudiar un movimiento es llegar a ser capaces de predecir en cualquier instante la posición del móvil que estudiamos, conociendo únicamente dos parámetros: la posición inicial y la velocidad con la que se desplaza.

Para obtener la ecuación del movimiento de un MRU se puede partir de la definición de velocidad media:

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

donde x_0 y t_0 son la posición y el tiempo en el instante inicial. Como al medir el tiempo lo que se hace realmente es tomar intervalos del mismo, por simplicidad se toma $t_0=0$.

Además, ya has visto que en un MRU la velocidad media siempre coincide con la instantánea, de modo que $v_m=v$ y por tanto:

$$v = \frac{x - x_0}{t} \quad \Rightarrow \quad x = x_0 + vt$$

que es la ecuación de la posición en un MRU.

Ecuaciones de un MRU

$$x = x_0 + vt \quad v = v_0 \quad a = 0$$

3.1 Gráficas en el MRU

Es muy importante que entiendas el significado de la posición, velocidad y aceleración que describen el movimiento de un objeto.

De la misma forma, debes interpretar la información que proporcionan las gráficas que representan la posición que ocupa un móvil cuando se desplaza, así como su velocidad y su aceleración en función del tiempo.

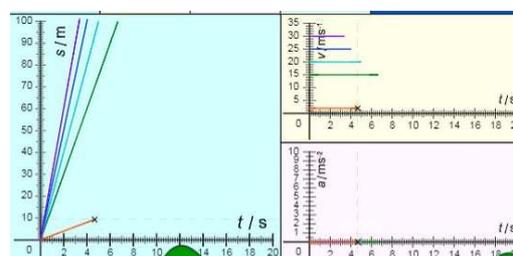
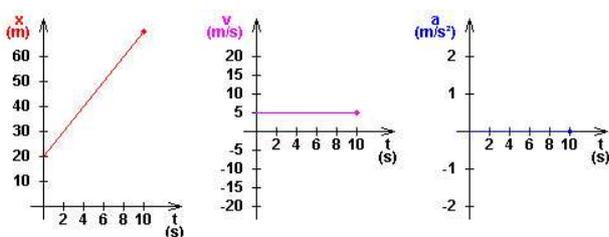
En general, vas a considerar que el movimiento rectilíneo transcurre en el eje x . Ahora bien, por coherencia con la representación de los ejes matemáticos, en movimientos verticales como el lanzamiento de objetos y la caída libre, el movimiento se produce en el eje y . También has de tener en cuenta que hacia la derecha y hacia arriba están las zonas positivas de los ejes de coordenadas, y a la izquierda y abajo las negativas.

Posición, velocidad y aceleración

Los **signos de la posición, la velocidad y la aceleración de un móvil son independientes uno de otro**, y se puede dar cualquier combinación entre ellos: por ejemplo, puede estar en una posición negativa (a la izquierda del origen), llevar velocidad positiva (moverse hacia la derecha) y aceleración negativa (ir cada vez más despacio).

Características de las gráficas de un MRU

- La gráfica de la posición (x) frente al tiempo (t) es una recta oblicua, que pasa por el origen cuando la posición inicial es cero; si no es así, corta el eje x en el valor de la posición inicial. La inclinación de la recta es positiva si la velocidad es positiva y negativa en caso contrario.
- La gráfica de la velocidad (v) frente al tiempo (t) es siempre una recta horizontal, que corta el eje de velocidades precisamente en el valor de la velocidad del movimiento.
- Dado que no existe aceleración, ésta permanece con valor cero durante todo el movimiento.



3.2 Resolución de problemas

Aunque muchas veces los problemas se refieren al movimiento de un único cuerpo, no ocurre así siempre; resulta de particular interés el caso de **dos móviles en movimiento simultáneo que se mueven en la misma recta**.

La única precaución necesaria en este tipo de problemas es prestar especial atención a describir sus movimientos siempre **referidos al mismo sistema de referencia**, por lo que si el móvil se acerca al origen moviéndose hacia la izquierda su velocidad es negativa, y más negativa cuanto más deprisa se mueva. Su resolución es similar a los anteriormente tratados, mediante la resolución simultánea de las ecuaciones de todos los móviles afectados.

Algunas consideraciones generales a la hora de tratar problemas con varios móviles son:

- Las ecuaciones se aplican a cada movimiento por separado y debes tener cuidado en diferenciar entre las variables de un movimiento y otro. Esto puedes conseguirlo añadiendo subíndices que las identifiquen.
- Aunque algunas variables sean diferentes para los dos movimientos, otras serán iguales. Deberás identificar primero estas últimas, pues te permitirán reducir el número de variables en el problema y hacer la solución mucho más fácil.

- En el caso en que algún movimiento sea la continuación de un primero, entonces la velocidad final y la posición final del primero serán la velocidad inicial y la posición inicial del segundo.
- Muchas veces la resolución gráfica de este tipo de problemas, representando en la misma gráfica los movimientos de todos ellos, permite una solución más rápida de los mismos.

4. Aceleración

Los cambios de rapidez

Cuando un coche que circula por un tramo recto de carretera se encuentra con un obstáculo (una piedra grande, agua encharcada, etcétera), el conductor pisa el pedal del freno para que no se produzca el impacto o para pasar más despacio. El coche se mueve cada vez más lentamente, hasta que incluso llega a detenerse.



¿Qué característica del movimiento se ha modificado? Lo ha hecho la magnitud de la velocidad -es decir, la rapidez-, que pasa del valor inicial a cero cuando el coche se para.

En casos como el anterior, con variación de la rapidez, la **aceleración** se llama **tangencial**, ya que su dirección es tangente a la trayectoria (si la trayectoria es rectilínea, tienen la misma dirección). En ese caso, la única forma de que haya aceleración es que el móvil aumente o disminuya su rapidez, o como se dice habitualmente, acelere o frene.

Los movimientos no rectilíneos

Vas a analizar ahora el caso de un móvil cuya trayectoria no es recta. En su movimiento, la dirección que sigue va cambiando aunque la rapidez sea constante. Es, por ejemplo, el caso de un coche que toma una curva. Pero, dado que la dirección es una de las características del vector velocidad y cambia en el giro, el vector velocidad no es constante. Al girar el volante se produce aceleración aunque la rapidez sea la misma y el marcador del coche indique el mismo valor. En este caso, la **aceleración** se llama **normal**.

La aceleración también tiene carácter vectorial, ya que además de la magnitud del cambio de rapidez hay que saber la dirección y el sentido en que se produce.

¿Cuándo hay aceleración?

Un movimiento tiene aceleración **si cambia la velocidad** tanto en magnitud como en **dirección** o **sentido**.

Unidades de aceleración

Considerando solamente movimientos rectilíneos, la aceleración mide la variación de la rapidez del móvil. Si en un caso concreto pasa de 5 a 20 m/s en 5 s, la rapidez ha aumentado en 15 m/s, y esa variación se ha producido en 5 s. Por tanto, la aceleración es de

$$a = \frac{20 \text{ m/s} - 5 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}^2$$

La aceleración resultante es de 3 m/s²: en el momento de comenzar la aceleración, la velocidad era de 5 m/s y como aumenta a razón de 3 m/s cada segundo, tienes los resultados de velocidad en función del tiempo que se muestran en la tabla.

tiempo (s)	rapidez (m/s)
0	5
1	8
2	11
3	14
4	17
5	20

Es decir, la aceleración mide la magnitud de la variación de la rapidez por unidad de tiempo.

Velocidad y aceleración

A partir de ahora, al hablar de velocidad y aceleración se hará referencia a sus magnitudes, sin tener en cuenta su carácter vectorial más que en el signo: velocidades y aceleraciones positivas o negativas. Si **la aceleración es positiva, la velocidad aumenta** durante el proceso, pero **si es negativa, disminuye**, hasta que el móvil llega a detenerse.

La aceleración mide la rapidez con la que varía la velocidad: si es grande quiere decir que la velocidad varía muy deprisa, aumentando o disminuyendo. Si no hay aceleración, la velocidad es constante.

Aceleración y tipos de movimiento

- Si la velocidad es constante, el movimiento es uniforme.
- Si la velocidad aumenta o disminuye, el movimiento es acelerado, con aceleración positiva o negativa respectivamente.
- Si la aceleración es constante, el movimiento es uniformemente acelerado.

5. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)

En la vida real es complicado encontrar ejemplos de movimientos rectilíneos uniformes. Sin embargo, es relativamente sencillo encontrar movimientos rectilíneos con aceleración constante; de hecho, cualquier cuerpo al caer experimenta un movimiento de este tipo.

Ahora vas a trabajar con movimientos rectilíneos con aceleración constante: **si la aceleración hace aumentar la velocidad, será positiva, y negativa si la hace disminuir** (el móvil está frenando).

Dado que en un MRUA la velocidad varía con el tiempo, para describirlo necesitarás, además de la posición x_0 , la velocidad v_0 en el instante inicial y la aceleración a que actúa sobre el móvil.

Considerando que $t_0=0$ y como en un MRUA la aceleración permanece constante:

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

que es la ecuación de la velocidad en un MRUA.

Para obtener la ecuación de la posición, podemos aprovecharnos del hecho que la velocidad media es constante en cualquier intervalo, dado que la aceleración es constante. Entonces:

$$v_m = \frac{v_0 + v_f}{2} = \frac{v_0 + (v_0 + at)}{2} = v_0 + \frac{1}{2}at$$

$$x = x_0 + vt = x_0 + v_m t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

Ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado

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

$$v = v_0 + at$$

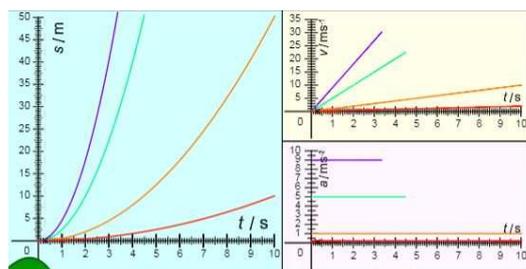
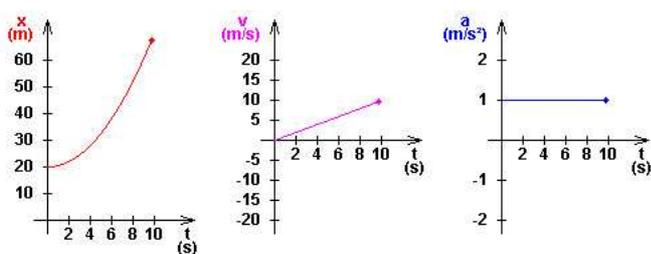
$$a = a_0$$

5.1 Gráficas en el MRUA

En el caso del MRUA también resulta interesante representar gráficamente la relación de las magnitudes cinemáticas (posición, velocidad y aceleración) frente al tiempo. Puedes simular movimientos con diferentes valores de posiciones y velocidades iniciales, así como aceleraciones positivas o negativas, dentro de los márgenes que permite el simulador. Observa las gráficas resultantes en cada caso para entender las características del movimiento.

Características de las gráficas de un MRUA

- La gráfica **posición-tiempo** es una **rama de parábola**, que pasa por el origen cuando la posición inicial es cero; si no es así, corta el eje de posiciones en el valor de la posición inicial. La curva es cóncava si la aceleración es positiva y convexa en caso contrario.
- La gráfica **velocidad-tiempo** es una **recta inclinada**, que pasa por el origen cuando la velocidad inicial es cero; si no es así, corta el eje de velocidades en el valor de la velocidad inicial. La inclinación de la recta (pendiente) es positiva si la aceleración es positiva y negativa en caso contrario.
- La gráfica **aceleración-tiempo** es siempre una **recta horizontal**, que corta el eje de aceleraciones en el valor de la aceleración del movimiento.



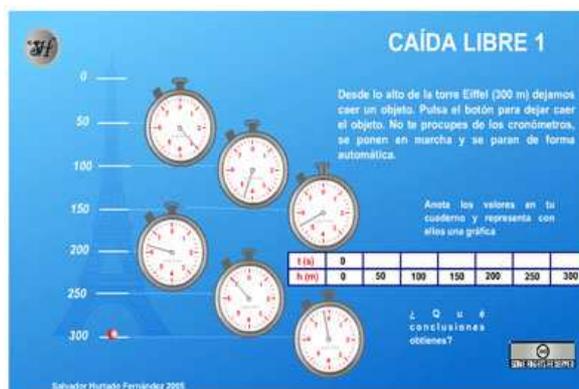
5.2 Movimientos en vertical

En caída libre

¿Qué es lo que le ocurre a cualquier cuerpo cuando se suelta a una determinada altura del suelo?

La respuesta es inmediata: el cuerpo cae al suelo por efecto de la gravedad, debida a la atracción gravitatoria que ejerce la Tierra sobre cualquier cuerpo situado en sus inmediaciones.

Observa la simulación ¿Qué tipo de movimiento lleva la bola?



A principios del siglo XVII Galileo demostró que si se desprecia el efecto de la resistencia del aire, todos los cuerpos experimentan el mismo movimiento de caída independientemente de su masa y de su forma. Concretamente, la distancia recorrida es directamente proporcional al cuadrado del tiempo invertido en recorrerla.

Movimiento de caída libre

Quando un cuerpo está únicamente sometido a la acción de la gravedad, describe un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado con aceleración vertical y sentido hacia el centro de la Tierra, representada como g y cuyo valor es de $9,81 \text{ m/s}^2$ (en la resolución de problemas se suele tomar el valor de 10 m/s^2)

En el caso particular de la caída libre, la aceleración es la debida a la gravedad (g) y las ecuaciones del MRUA quedan de la forma:

$$v = v_0 - gt \qquad x = x_0 + v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$$

Observa el signo negativo en las ecuaciones. Esto se debe a que **el sistema de referencia tomado tiene como origen de coordenadas el suelo, y la dirección positiva del eje hacia arriba**; en este sistema de referencia, como la gravedad siempre tiene el sentido hacia el centro de la tierra, toma un valor negativo que ya aparece en las ecuaciones del movimiento.

En los movimientos verticales

- **Cuando el cuerpo asciende su velocidad es positiva, y negativa cuando cae.**
- La velocidad de subida es positiva y se anula en el punto más alto de la trayectoria.
- La velocidad de caída se va haciendo cada vez más negativa (¡el objeto va cayendo cada vez más deprisa!).
- El tiempo de subida desde el suelo hasta alcanzar la altura máxima es el mismo que el de caída de esa altura hasta el suelo.
- La velocidad de lanzamiento desde el suelo es la misma que la de llegada al suelo.
- En el suelo la altura es cero y en la altura máxima la velocidad es cero.

La aceleración de la gravedad

Cuando un cuerpo de tamaño pequeño y forma aerodinámica experimenta una caída libre cerca de la superficie de la Tierra, su velocidad aumenta en 9,81 metros por segundo en cada segundo. A efectos de estimaciones de cálculo, puedes considerar que el aumento es de 10 metros por segundo en cada segundo (10 m/s^2). Es decir, como al soltarla lleva una velocidad nula, al cabo de un segundo su velocidad será de 10 m/s, al cabo de otro segundo (2 s), de 20 m/s, un segundo después (3 en total), de 30 m/s, y así sucesivamente.

Este es un dato experimental, y que como verás más adelante al ver las fuerzas gravitatorias no es constante: dependiendo de dónde se produzca la caída libre, el valor es diferente (no es lo mismo en el Ecuador que en los Polos, aunque la diferencia es pequeña, ni en la Tierra o en la Luna, donde la diferencia es muy apreciable).

6. Movimientos circulares

Los objetos no solamente cambian su posición al trasladarse de un sitio a otro: también pueden girar, como es el caso de discos multimedia, centrifugadoras, taladros domésticos, batidoras, satélites, Habitualmente giran con velocidad constante. Ahora vas a ver cómo se describe su velocidad de giro.

Magnitudes en movimientos periódicos

Hay dos magnitudes asociadas a los movimientos de giro y también a cualquier otro movimiento periódico (aquellos en los que las posiciones se repiten cada cierto tiempo, como sucede, además de en los objetos que giran a velocidad constante, en los péndulos y en los muelles cuando oscilan): el **periodo T** (tiempo que cuesta hacer un giro completo, medido en segundos, s) y la **frecuencia f** (número de vueltas o oscilaciones por segundo, medido en hertzios, Hz).

Movimientos circulares uniformes alrededor de la Tierra

Como sabes, los planetas giran alrededor del Sol en órbitas aproximadamente circulares, girando con rapidez constante. Los satélites giran alrededor de los planetas de la misma forma (la Luna alrededor de la Tierra, Fobos y Deimos alrededor de Marte, etc). Pero también hay satélites artificiales como el Meteosat, que envía imágenes de la Tierra para elaborar mapas meteorológicos, satélites de comunicaciones, satélites



espía con fines militares, la Estación Espacial Internacional, etc.

En todos los casos se trata de cuerpos que giran con rapidez constante, recorriendo espacios iguales en tiempos iguales. Sin embargo, la velocidad varía, ya que la dirección del móvil cambia conforme el móvil describe la trayectoria curva. Y como **cambia la dirección del vector velocidad**, hay **aceleración**, que recibe el nombre de **normal** o **centrípeta**.

Como la trayectoria es circular y se recorre con rapidez constante, el movimiento se llama **movimiento circular uniforme, MCU**. Es muy importante analizarlo debido a la gran cantidad de sistemas que, además de los satélites, describen MCUs: relojes, ruedas, discos, aerogeneradores ...

El movimiento circular uniforme

Las magnitudes que caracterizan al movimiento circular uniforme (trayectoria circular con rapidez constante) son:

Velocidad de giro (revoluciones por minuto, rpm, o por segundo, rps).

Periodo (tiempo que tarda el móvil en dar una vuelta, segundos, s).

Frecuencia (número de vueltas que da el móvil por segundo, rps o hertzios, Hz).

6.1 Giros y desplazamientos

Giro de ruedas y velocidad de móviles

Los móviles como los coches, las bicicletas y los tractores llevan ruedas que cuando giran indican que el móvil cambia de posición. Además, seguro que tienes claro que cuanto más deprisa giran significa que mayor es su velocidad de desplazamiento.

¿Qué relación hay entre la velocidad de giro de las ruedas y la de desplazamiento del móvil? Para establecerla, solamente tienes que tener en cuenta que cuando la rueda está apoyada en la superficie de movimiento **mientras da una vuelta completa recorre toda su longitud, es decir $2\pi r$ metros** (¡la longitud de su circunferencia!), que es lo que avanza el móvil.

Tractores

Los tractores tienen una característica especial: las ruedas delanteras suelen ser más pequeñas que las traseras y son las que giran más deprisa. Utiliza el vídeo para comprobarlo.



Pero cuando el tractor avanza, la distancia que recorren los dos tipos de ruedas es la misma (¡el tractor no se estira!); por tanto, como las ruedas más grandes recorren más distancia al dar una vuelta ($2\pi r_g$) que las pequeñas ($2\pi r_p$), las grandes deben girar más despacio que las pequeñas para que recorran el mismo espacio en el mismo tiempo.

Siendo t el tiempo de movimiento, v la velocidad del tractor, ω la velocidad de giro de las ruedas y r su radio (p pequeñas y g grandes):

$$t_p = t_g \quad v_p = v_g \quad \omega_p > \omega_g \quad r_p < r_g$$

Al medir los diámetros de las dos ruedas, los resultados son de 4,7 cm para la grande y 3,1 cm para la pequeña. Es decir, su relación es de aproximadamente 1,5, lo mismo que la relación entre sus velocidades de giro (3 vueltas las ruedas pequeñas cada 2 vueltas las ruedas grandes). Por tanto, se cumple que:

$$\frac{\omega_p}{\omega_g} = \frac{r_g}{r_p}$$

Tema 4. Fuerzas

Con mucha frecuencia utilizas el término "fuerza", aunque seguramente no tienes muy claro su significado.

Fíjate en las imágenes siguientes y en las frases que se relacionan con ellas: "las bolas de billar golpean con mucha fuerza y salen en todas las direcciones con gran velocidad", "el ciclista tiene mucha fuerza en las piernas y mueve la bicicleta con soltura", "como tengo poca fuerza no puedo arrastrar el baúl", "la levantadora de pesas tiene mucha fuerza", etc.



1. ¿Qué es una fuerza?

Efectos de las fuerzas

Las fuerzas producen dos tipos de efectos a escala macroscópica: **cambios en el estado de movimiento de los objetos** (traslación o giro) y **deformaciones**.



Parece claro que para poner en movimiento un objeto que está en reposo hace falta una fuerza, lo mismo que para detener un objeto que se mueve. Pero ¿y para mantener en movimiento un cuerpo que ya se está moviendo? Como verás cuando avances en este tema, depende de la situación concreta: a veces hace falta una fuerza y a veces no.

En cuanto a las deformaciones y los giros, la situación es más clara: si quieres moldear un trozo de plastilina o estirar un muelle, solamente tienes que aplicar la fuerza necesaria tal y como te interese, y también debes realizar una fuerza para abrir una puerta.

La fuerza como interacción

Para que la bicicleta se mueva o mantenga su movimiento, el ciclista debe realizar una fuerza sobre ella al pedalear. Para que el baúl se mueva, alguien debe empujarlo o tirar de él. Fíjate en que hace falta que alguien o algo realice la fuerza sobre un objeto para que se manifieste algún tipo de efecto.

Las **fuerzas son una medida de la interacción entre dos cuerpos**, de manera que uno realiza la fuerza sobre el otro.

¿Qué es una fuerza?

Una fuerza es una **medida de la interacción entre dos cuerpos**, que puede dar lugar a cambios en:

- Su velocidad.
- Su forma.
- La dirección en la que se mueven.



La fuerza es el resultado de la interacción de dos cuerpos, pero no es algo que se acumule en ellos: una persona forzada sería aquella que es capaz de desarrollar una gran fuerza, pero no es que contenga fuerza en sí misma.

1.1 Tipos de fuerzas

Las fuerzas se pueden clasificar de varias formas. Si hay contacto directo entre la causa de la fuerza y el cuerpo sobre el que actúa, se llaman de **contacto**: si quieres arrastrar una maleta, no hay forma de hacerlo si no tiras directamente de ella.

Pero hay fuerzas que se manifiestan sin contacto directo. Ya has visto en cursos anteriores que las cargas eléctricas del mismo signo se repelen, y más cuanto más cerca se encuentran: se trata de fuerzas **a distancia**.

También se pueden clasificar según su naturaleza: **elásticas** (muelles), **gravitatorias** (el peso de los cuerpos), **eléctricas** (entre cargas del mismo o distinto signo) y **magnéticas** (imanes).

1.2 Midiendo fuerzas

Cuando tiras del extremo de un muelle, se alarga. Es algo que todo el mundo sabe. Pero ¿los muelles se estiran por igual si se les aplica la misma fuerza? ¿Depende el estiramiento de la fuerza aplicada?

El newton

Sobre un cuerpo actúa siempre al menos una fuerza: la atracción que la Tierra ejerce a distancia sobre él, llamada **peso**. Si la masa del objeto es **m**, su peso es **mg**. Pues bien, sobre una masa de un kg la Tierra ejerce una fuerza de 9,8 newtons (9,8 N), donde **el newton es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional**.

La ley de Hooke

Para establecer la relación entre fuerza y alargamiento, vas a realizar la siguiente experiencia en el laboratorio, y después comprobarás los resultados utilizando un simulador.

A partir de datos experimentales, la ley de Hooke afirma que el estiramiento Δx producido al aplicar una fuerza F a un muelle es directamente proporcional al valor de la fuerza y al tipo de muelle, de acuerdo con la expresión **$\Delta x = kF$** .

También se puede expresar diciendo que la fuerza necesaria para producir un alargamiento Δx es proporcional al valor del alargamiento, y entonces se expresa como **$F = k\Delta x$** .



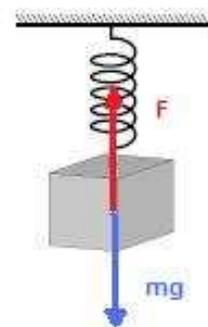
Ten en cuenta que la K tiene un significado distinto en cada caso: en el primero es el alargamiento producido al aplicar al muelle la unidad de fuerza, mientras que en el segundo es la fuerza que hay que aplicar al muelle para producir un alargamiento unidad.

1.3 El dinamómetro



Un dinamómetro no es más que un muelle calibrado, de forma que en lugar de indicar cuánto se estira marca el valor de la fuerza necesaria para producir ese estiramiento.

Si observas diferentes dinamómetros verás que si el muelle es poco consistente, se estira mucho aplicando poca fuerza, pero si se trata de un muelle hecho con cable grueso, necesita una fuerza muy intensa para estirarse.



Para saber el peso de un objeto, no tienes más que colgarlo y leer lo que marca el dinamómetro. Fíjate en el dibujo: el bloque de peso mg estira el muelle, que realiza una fuerza F para sostenerlo. Esta fuerza es la que marca el dinamómetro.

El peso de los cuerpos

Una masa de un kilogramo colgada de un dinamómetro tiene un peso de 9,8 N (que se suele aproximar a 10 N).

2. Carácter vectorial de las fuerzas

Fíjate en el saque de Rafa Nadal: según sea la intensidad del impacto de la raqueta con la pelota, su dirección, sentido y punto de aplicación, el efecto producido será diferente, y podrá significar un punto a favor o en contra en el desarrollo del partido de tenis.

Sucede lo mismo en todos los casos: no es lo mismo aplicar 10 N a un muelle en el sentido de alargamiento que en el de compresión, porque en un caso el muelle se estira y en el otro se comprime.

Es decir, **las fuerzas son magnitudes vectoriales**, ya que además de su **magnitud** (¡hacer más o menos fuerza!) hay que detallar otras características como la **dirección**, el **sentido** y el **punto de aplicación**.



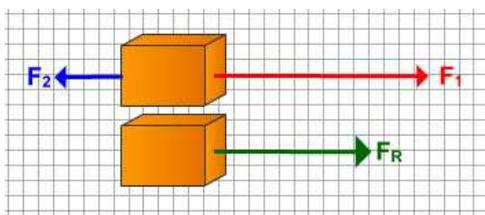
Las fuerzas son magnitudes vectoriales

Las fuerzas se representan mediante un **vector**, que es una flecha cuya longitud indica la **magnitud** de la fuerza, su **dirección** es la de la fuerza, el origen indica el **punto de aplicación** y la orientación del extremo el **sentido** de la fuerza.

2.1 Fuerza resultante

Es muy habitual que sobre un cuerpo actúen varias fuerzas, de forma que cada una de ellas por separado produciría un efecto diferente del que producen todas juntas.

Para saber el efecto que se manifestará cuando todas actúan a la vez se tiene que determinar cuál es la fuerza que aplicada al cuerpo produciría el mismo efecto que todas las que realmente se aplican, y que las sustituiría a todas ellas juntas. Es decir, establecer cuál es la **fuerza resultante**.



Fíjate en que si las fuerzas son perpendiculares puedes calcular la magnitud de la fuerza resultante utilizando el teorema de Pitágoras.

Si actúan varias fuerzas (F_1, F_2, F_3, \dots), se hace la resultante R_1 de F_1 y F_2 , después la resultante de R_1 y F_3 y así sucesivamente.

Resultante de dos fuerzas

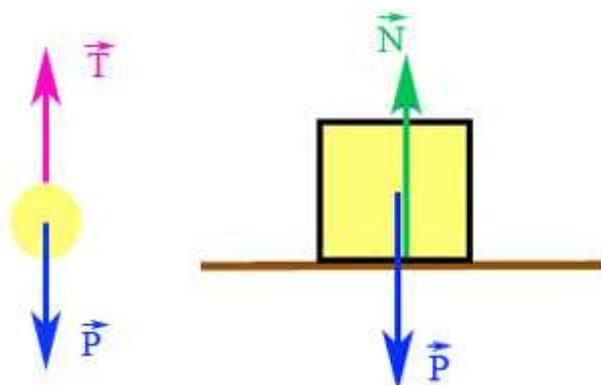
Si son **de la misma dirección y sentido**, la resultante tiene la misma dirección y el mismo sentido, y su magnitud es la suma de las magnitudes de las dos fuerzas.

Si son **de la misma dirección y de sentidos contrarios**, la resultante tiene la misma dirección, el sentido de la fuerza mayor magnitud, y su magnitud es la diferencia de las magnitudes de las dos fuerzas.

3. Equilibrio de fuerzas

Cuando sobre un cuerpo actúan varias fuerzas y la resultante de todas ellas es nula, el cuerpo se encuentra en **equilibrio de traslación**, lo que significa que **no cambia su estado de movimiento**. Es decir, si estaba en reposo, continúa en reposo, y si se estaba moviendo, continúa haciéndolo de la misma forma, manteniendo su velocidad.

Observa los dos diagramas. En el de la izquierda se representan las fuerzas que actúan sobre un objeto colgado de una cuerda: el **peso P** realizado por la Tierra, y la **tensión T** de la cuerda que lo sostiene. La resultante es nula, por lo que el cuerpo permanece indefinidamente en reposo mientras la situación se mantenga.



A la derecha se representan las fuerzas que actúan sobre un bloque apoyado en una superficie horizontal: su **peso** y la fuerza que realiza el plano sobre él y que lo sostiene, llamada habitualmente **normal** (en geometría, normal significa perpendicular). También se encuentra en equilibrio de traslación: cuanto mayor es el peso, más grande es la normal, pero ambas son de

magnitudes iguales pero de sentido contrario. Eso sí, puede suceder que cuando el peso sea excesivo la superficie no pueda soportarlo y se rompa, con lo que la normal no existe, actúa solamente el peso y el cuerpo cae.

Equilibrio en cuerpos apoyados o colgados

Como se mantienen con velocidad constante (en reposo) no hay aceleración. Y como sobre ellos actúa el peso, tiene que haber necesariamente otra fuerza de igual intensidad y dirección pero sentido contrario para que su resultante con el peso sea nula: la normal, reacción de la superficie de apoyo, o la tensión de la cuerda que sostiene al objeto.

3.1 Equilibrio de rotación

El efecto de giro de una fuerza viene dado por una magnitud llamada **momento de la fuerza**, que depende de la magnitud de la fuerza y de la distancia al eje de giro. En el caso de una puerta, de la fuerza con la que tiramos de ella y de la distancia desde el punto en que tiramos hasta el eje de la puerta, donde están las bisagras.

Fíjate en el simulador: el peso del portapesas por un lado y el dinamómetro por otro producen efectos de giro contrarios. Observa que el producto de lo que marca el dinamómetro por la distancia al tornillo de fijación de la regla es igual al peso de las pesas por su distancia al mismo punto.



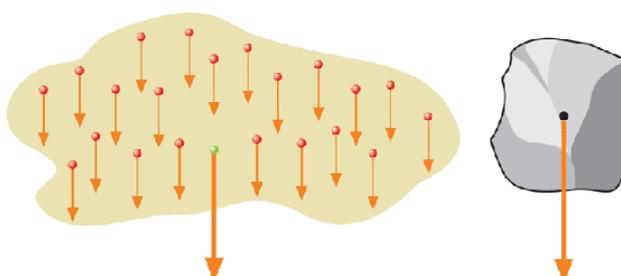
Se cumple, por tanto, que $\Sigma M = 0$, donde $M = F d$, teniendo en cuenta el signo del momento de cada fuerza según sea el efecto de giro que produce.

En equilibrio de rotación

Para que el efecto de giro sea nulo y haya equilibrio de rotación, el momento total debe ser cero: $\Sigma M = 0$, donde $M = F d$, teniendo en cuenta el signo del momento de cada fuerza según sea el efecto de giro que produce.

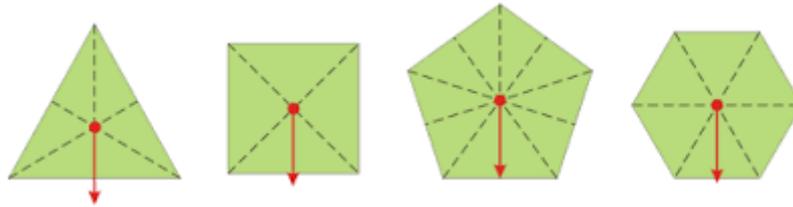
3.2 El centro de gravedad

El centro de gravedad (cdg) es el punto sobre el que se sitúa la resultante del peso que actúa sobre cada una de las partes del cuerpo. Es decir, se deja de considerar al cuerpo como una masa puntual y se tienen en cuenta su forma y dimensiones.



Determinación del centro de gravedad

Si el cuerpo es regular, es muy sencillo localizarlo: la intuición indica que estará en su centro geométrico.



Observa que en todos estos casos el centro de gravedad está dentro del cuerpo. Pero ¿siempre es así?. Fíjate ahora lo que sucede en el caso de objetos como los flotadores o los neumáticos. En estos casos, el cdg está en un punto que no pertenece al cuerpo.



Si el cuerpo es irregular, hay que recurrir al proceso experimental que se indica en la imagen.

Paso 1: Considerar una figura 2D arbitraria.	
Paso 2: Suspéndase la figura desde un punto cercano a una arista. Marcar la línea vertical con una plomada.	
Paso 3: Suspéndase la figura de otro punto no demasiado cercano al primero. Marcar otra línea vertical con la plomada. La intersección de las dos líneas es el centro de gravedad.	

El centro de gravedad y el equilibrio de los cuerpos

Para que un cuerpo esté en equilibrio de rotación, es decir, no gire ni se caiga, la vertical del cdg debe caer dentro de la superficie de apoyo del cuerpo.

¿Cómo funciona un tentetieso? En la imagen tienes un tentetieso de juguete para niños pequeños: se entretienen empujándolo para que comience a cabecear de un lado para otro.



¿Por qué lo hace? El punto de apoyo es muy pequeño, por lo que al empujar un poco al muñeco la vertical del peso cae fuera de la zona de apoyo; entonces se genera un momento de giro justo en el sentido contrario al del empujón, y cuando llega al otro lado y se detiene un instante, cae en sentido contrario, y así sucesivamente hasta que vuelve a quedarse vertical, en equilibrio.



En el vídeo puedes ver un tentetieso casero. Observa que es alto y además tiene una bola metálica arriba del todo. ¿Cuál es la razón? Cuanto más arriba tenga el cdg, más se desviará con un empujón y mayor será la oscilación (que es de lo que se trata).

La estabilidad de los cuerpos

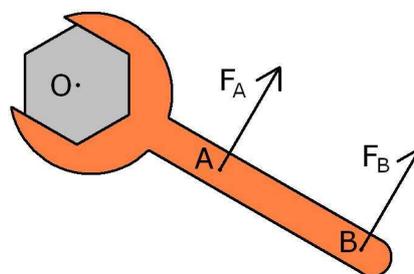
Para favorecer la estabilidad de los cuerpos y evitar que se caigan interesa que sean bajos y con una superficie de apoyo grande, para evitar que la vertical del cdg caiga fuera de la superficie de apoyo y el cuerpo vuelque.

3.3 Aplicaciones

Se trata ahora de que reflexiones y resuelvas situaciones interesantes relacionadas con el equilibrio de rotación.

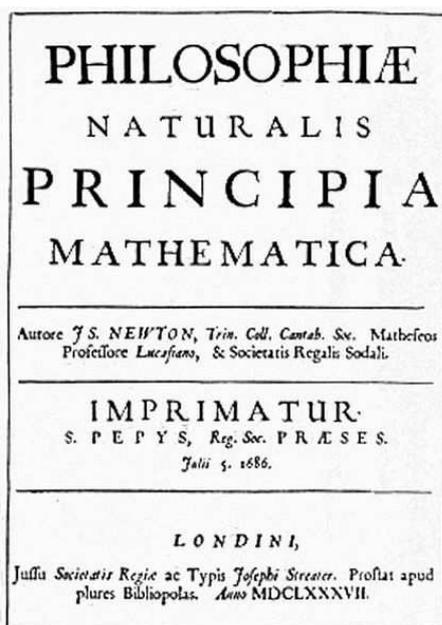
Para ello, solamente has de tener en cuenta que el efecto de giro depende de la fuerza realizada y de su distancia al eje de giro. Si actúan varias fuerzas, deberás asignar como positivo el efecto producido por una de ellas, de forma que serán positivos todos los que hagan girar al objeto de la misma forma, y negativos los que hagan girar al revés.

Fíjate en la llave inglesa de la imagen. Si se aplican fuerzas iguales en los puntos A y B, ¿en qué caso se producirá un efecto de giro mayor? En consecuencia, ¿interesa utilizar llaves inglesas de mango largo o corto?



Como el efecto de giro lo mide el momento de la fuerza, que es el producto de su módulo (magnitud) por la distancia al punto de giro, la fuerza aplicada en B producirá un giro mayor, y, por tanto, convendrá **tener llaves inglesas de mango largo**.

4. Dinámica



Una de las ideas más aceptadas desde que se comenzó a estudiar el movimiento de los astros en las culturas mesopotámica, egipcia y griega fue considerar que el estado perfecto de los cuerpos era el de reposo, que todos ellos tendían a alcanzar de forma natural (¿ya se pensaba en la hora de la siesta?).

Galileo Galilei (1564-1642), que medía todo lo que observaba, estableció que no era necesaria una fuerza para mantener el movimiento de un cuerpo.

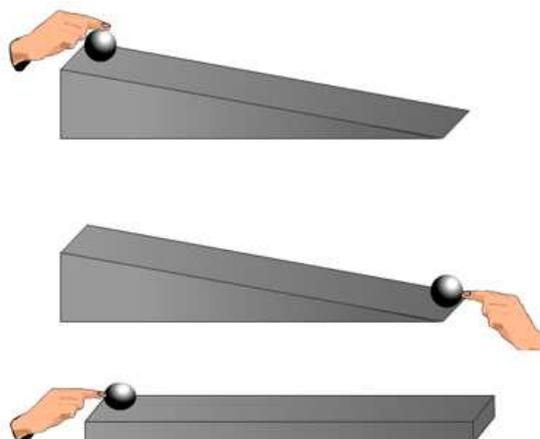
Posteriormente, **Isaac Newton** (1642-1727), el mayor genio científico de la historia del hombre -con permiso de Einstein- fue quien, basándose en los trabajos de Galileo, propuso las tres leyes que llevan su nombre, que en ese momento revolucionaron el conocimiento científico y que todavía siguen en vigor hoy en día.

En su libro Principios matemáticos de la Filosofía natural [Philosophiae Naturalis Principia Mathematica], publicado en 1687, se recogen sus descubrimientos en el cálculo matemático y la mecánica. Se considera como la obra de contenido científico más importante que se ha escrito.

4.1 Principio de inercia

Galileo experimentó con planos inclinados, haciendo rodar bolas por superficies planas inclinadas distintos ángulos con la horizontal. La conclusión a la que llegó es que como las bolas bajaban cada vez más rápidas y subían perdiendo rapidez, al rodar en un plano horizontal lo harían con rapidez constante.

Galileo construyó dos planos inclinados y los colocó en ángulos opuestos. Desde lo alto del primero de los planos soltó una bola que bajó rodando. Al llegar al segundo plano la bola subió por él hasta cierta altura. Galileo observó que la bola trataba de alcanzar la altura inicial.



Galileo repitió la experiencia reduciendo el ángulo del segundo plano y encontró que la bola subía siempre hasta la misma altura, aunque recorría una distancia mayor. Se preguntó ¿qué pasaría si el segundo plano fuera horizontal? Y llegó a la conclusión de que la bola seguiría rodando sobre la superficie para siempre.

Si se quiere mantener un cuerpo en movimiento, se debe seguir empujando debido al rozamiento y no a la naturaleza del proceso. Galileo afirmó que **los cuerpos tienden a permanecer en su estado de movimiento** y que, por consiguiente, oponen una resistencia a un cambio en su estado de movimiento.

Si la fuerza total que actúa sobre un cuerpo es nula, permanecerá en el estado de movimiento que tenga: en reposo, con velocidad nula, o manteniendo constante la velocidad que lleve.

Solamente has de tener en cuenta que uno de los efectos de las fuerzas es producir cambios de velocidad, por lo que si no actúan fuerzas netas no se producen esos cambios.

Se suele hablar de **la inercia como la tendencia que tienen los cuerpos a mantener su estado de movimiento**: permanecer en reposo si están quietos, o seguir moviéndose con la velocidad que llevan.

En este video puedes observar como un chico subido a un monopatín cumple la primera ley de Newton en dos casos diferentes



En la primera situación, la fuerza se ejerce sobre el monopatín poniéndolo en movimiento, sin embargo el chico tiende a permanecer parado, tal y como estaba, ya que la fuerza no se está ejerciendo sobre él.

En la segunda situación el chico se está moviendo subido en el monopatín, que al chocar con la colchoneta se para. Sin embargo el chico sigue moviéndose ya que sobre él la colchoneta no ha ejercido ninguna fuerza. Los puntos rojos marcan su movimiento, que será el mismo que tenía cuando estaba moviéndose antes de chocar.

Primera ley de Newton o ley de inercia

Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza, mantendrá el movimiento que llevaba inicialmente (se moverá en línea recta con velocidad constante o permanecerá en reposo).

La masa y la inercia

La masa es una medida de la inercia, es decir de la resistencia de un cuerpo a que lo pongan en movimiento, lo detengan o en general cambien su movimiento.

¿Fuerza total nula?

Debes tener en cuenta que sobre cualquier cuerpo actúa siempre su peso, la fuerza con la que la Tierra lo atrae, por lo que debe actuar al menos otra fuerza en los casos en los que la fuerza total resultante sea nula.

4.2 Ley fundamental

La aceleración producida es directamente proporcional a la fuerza total aplicada, e inversamente proporcional a la masa del objeto. Se suele expresar como:

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

Es importante que te des cuenta de que **F se trata de la fuerza total aplicada, de la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el objeto.**

Como este curso solamente trabajas con fuerzas que actúan en la misma dirección, no es necesario utilizar el carácter vectorial de las fuerzas, sino solamente su sentido para saber el signo de la aceleración, positiva o negativa, por lo que la expresión se reduce a **$\Sigma F = ma$** .

Segunda ley de la dinámica

La aceleración producida en un objeto es directamente proporcional a la fuerza total aplicada, e inversamente proporcional a la masa del objeto.

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

4.3 Principio de acción y reacción

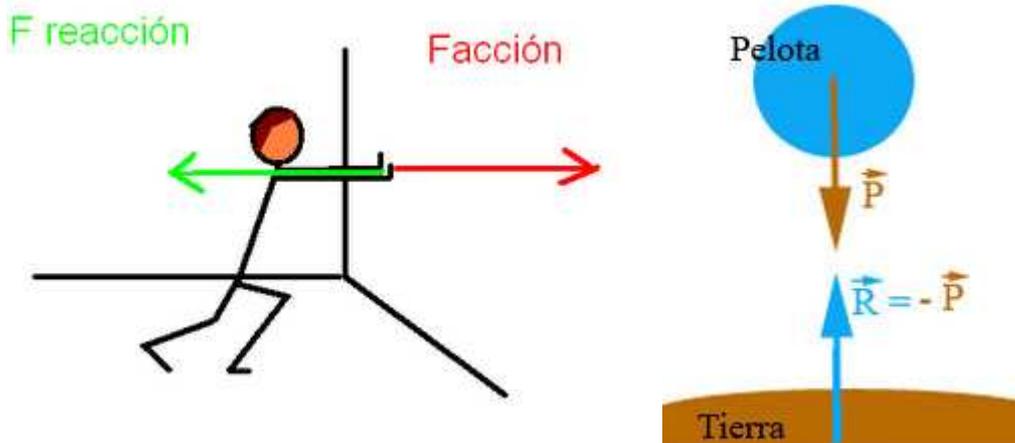
Cuando golpeas una mesa con el puño o la palma de la mano, sientes dolor. ¡Pero eres tú quien ha dado el golpe a la mesa! ¿Por qué te duele la mano? Además, el dolor será más intenso cuanto mayor sea la intensidad del golpe que hayas dado.



Para saber la razón debes tener en cuenta el tercer principio de la dinámica: **cuando un cuerpo A realiza una fuerza sobre un cuerpo B, éste cuerpo B aplica sobre A una fuerza de la misma intensidad y dirección, pero de sentido contrario**. Se trata de **dos fuerzas**, llamadas de **acción y de reacción**, que **no se anulan porque se aplican sobre cuerpos diferentes**.

Es decir, ¡es la mesa la que te devuelve el golpe!

En la imagen puedes ver lo que sucede cuando empujas la pared: ¡también te devuelve una fuerza de reacción que responde a la que tú estás aplicando!



El peso de los cuerpos también interviene en un par de fuerzas de acción y reacción. Como puedes ver en la imagen, la Tierra atrae a la pelota con una fuerza que llamamos el peso de la pelota (P), pero, a su vez, la pelota atrae a la Tierra con una fuerza que en el diagrama se indica como R .

Como actúa una fuerza neta sobre la pelota, le provoca una aceleración, que ya sabes que es la aceleración de la gravedad, g ($9,81 \text{ ms}^{-2}$). Sin embargo, como la masa de la Tierra es comparativamente enorme, la aceleración que le provoca la fuerza R de reacción es extraordinariamente pequeña y se puede despreciar con toda tranquilidad.

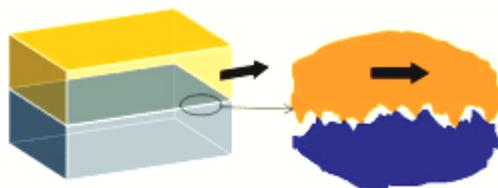
Tercera ley de Newton: acción y reacción

Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste ejerce una fuerza sobre el primero de la misma intensidad y dirección pero de sentido opuesto.

5. Rozamiento

Cuando lanzas un objeto por una superficie horizontal, lo que observas es que cada vez su velocidad es menor, hasta que llega a detenerse.

Por tanto, lleva una aceleración negativa, contraria al sentido del movimiento, lo que hace que su velocidad disminuya hasta anularse, y el móvil se para.



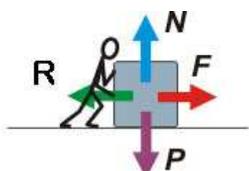
Si las caras del objeto están pulimentadas y la superficie sobre la que se desliza también (la pastilla de hockey en la pista de hielo!) se mueve durante mucho más tiempo y recorre más espacio hasta pararse.

¿Qué fuerza produce esa aceleración de frenado? Se llama **fuerza de rozamiento**, se opone al movimiento y se debe a la rugosidad de las dos superficies, que provoca que el deslizamiento de una sobre otra quede dificultado.

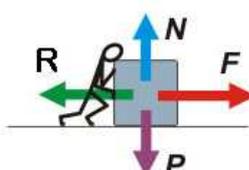
Rozamiento estático y rozamiento dinámico

Fíjate en la imagen, en la que se representa lo que sucede cuando se empuja un bloque que se pretende poner en movimiento para trasladarlo.

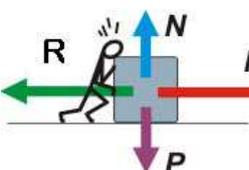
En la dirección vertical actúan el peso, realizado por la Tierra, y la normal, que realiza la superficie de apoyo. Como son iguales y de sentido contrario, el objeto no experimenta cambio de velocidad vertical y sigue en contacto con la superficie.



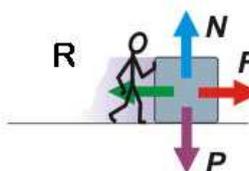
En la primera viñeta, el hombre empuja con una fuerza F , pero el bloque no se mueve porque hay una fuerza de rozamiento R igual y de sentido contrario, por lo que la aceleración es nula y no hay cambio de velocidad.



En la segunda, empuja con una fuerza mayor, con lo que aumenta el rozamiento pero la aceleración sigue siendo nula, ya que el bloque continúa sin moverse.



En la tercera todavía son mayores la fuerza de empuje y el rozamiento, pero el bloque sigue sin moverse.



Finalmente, en la cuarta viñeta el bloque comienza a moverse. Pero en ese momento disminuye la fuerza de rozamiento, con lo que la fuerza motriz para mantener el movimiento a velocidad constante es menor.

Es decir, es más difícil poner el bloque en movimiento que mantener el movimiento una vez que ya ha comenzado: **el rozamiento estático es mayor que el dinámico**.

Superficies que rozan

El rozamiento se debe a la rugosidad de las superficies, que se "enganchan" al intentar deslizar una sobre otra.

Si se tira de un cuerpo y no se mueve, es porque hay rozamiento, que nunca es mayor que la fuerza de tracción.

Es más fácil mantener un cuerpo en movimiento que conseguir que se mueva (el rozamiento dinámico es menor que el estático).

5.1 Coeficiente de rozamiento

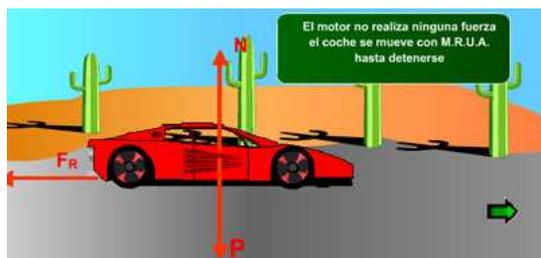
El valor de la fuerza de rozamiento depende del valor de la fuerza normal que la superficie ejerce sobre el cuerpo; si la superficie es horizontal tiene una magnitud igual al peso del objeto (ya verás en Bachillerato que si el plano está inclinado la normal es menor que el peso).

Observa los dos vídeos siguientes: en el de la izquierda, al tirar del dinamómetro el objeto se pone en movimiento cuando la fuerza con la que se tira es igual a la fuerza de rozamiento estático (de 0,8 N), mientras que para mantenerlo en movimiento es suficiente con una fuerza de 0,4 N.



Como solamente vas a trabajar con planos horizontales, la relación entre la fuerza de rozamiento y la normal es una relación constante que se llama **coeficiente de rozamiento μ** , de forma que **$R = \mu mg$** .

Si las superficies en contacto rozan mucho, el coeficiente de rozamiento es grande, siendo habituales valores de 0,5-0,8. Si no rozan, desaparece la fuerza de rozamiento.



Fíjate en el coche de la simulación siguiente y en los valores de la fuerza que ejerce el motor y de la fuerza de rozamiento. Ten presente que el coche no se pone en marcha hasta que la fuerza motriz es mayor que la de rozamiento estático máxima, igual que sucede con el taco de rozamiento del vídeo.

Dinámica del rozamiento

El principio fundamental de la dinámica se aplica teniendo en cuenta la fuerza motriz F y la fuerza de rozamiento, μmg , que se opone al movimiento:

$$F - \mu mg = ma$$

La normal y el rozamiento

Para que haya rozamiento entre dos superficies deben estar comprimidas. En el caso de planos horizontales, la existencia de la normal (la reacción del plano de apoyo al peso del cuerpo que está sobre él) provoca que haya rozamiento: si no hay normal (fuerza perpendicular entre las superficies en contacto), no hay rozamiento.

6. Fuerza gravitatoria

Al analizar la caída libre de los objetos ya viste que caen con una aceleración que tiene un valor de $9,8 \text{ m/s}^2$ a nivel del mar. Pero ¿ese valor depende de la masa de los objetos?

La masa de los cuerpos y la aceleración de la gravedad

Puedes comprobar fácilmente que **el tiempo de caída es independiente de la masa** del objeto, por lo que puedes concluir que la aceleración de caída no depende de la masa del cuerpo que cae.

La fuerza que hace caer la bola de **masa m** con **aceleración g** se llama **peso P**, por lo que la ley fundamental de la dinámica en la caída libre se puede escribir como **$P=mg$** .

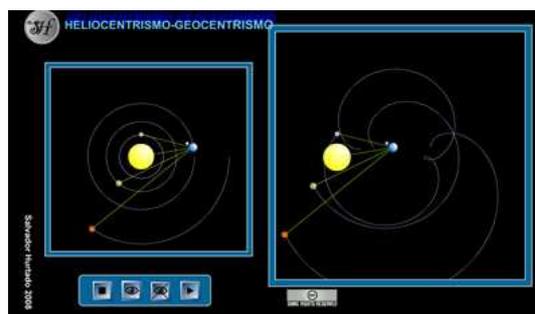
6.1 Concepciones del sistema solar

Desde hace más de 3000 años se observa el cielo para ver los astros y estudiar cómo se mueven, y hace ya mucho tiempo que se dio nombre a constelaciones, estrellas y otros astros. Pero fue en el siglo II cuando Ptolomeo propuso un modelo de Universo en el que la Tierra era el centro, y todos los demás astros giraban alrededor de ella. Este modelo **geocéntrico** se mantuvo durante toda la Edad Media, porque además suponía que también el hombre, que dominaba la Tierra por designio divino, era el centro del Universo.

Sin embargo, las observaciones de Brahe en el siglo XVII sobre las posiciones de los planetas retomaron el modelo **heliocéntrico** (el Sol era el centro del Universo) propuesto por Aristarco de Samos 2000 años antes. Kepler formuló leyes matemáticas que explicaban el movimiento de los planetas alrededor del Sol, y Galileo, utilizando un antejo, comprobó la certeza de esos estudios y descubrió los cuatro grandes satélites de Júpiter (Calixto, Europa, Io y Ganímedes).

Galileo difundió el modelo heliocéntrico, lo que casi le cuesta la condena a muerte por parte de la Inquisición, que le hizo renegar públicamente de su modelo heliocéntrico en 1633. Dice la leyenda que cuando terminó el juicio, salió de la sala diciendo "Eppur si muove" (y sin embargo se mueve), haciendo referencia a que la Tierra no era el centro del Universo, y que se movía.

Observa cómo se ven desde la Tierra las trayectorias de los astros en un modelo heliocéntrico y en uno geocéntrico. Ten en cuenta que los astros se mueven de la forma que lo hacen, y que los modelos solamente explican ese movimiento de forma diferente.



Las líneas blancas son las trayectorias que describen el Sol, Mercurio, Venus, la Tierra y Marte, mientras que las líneas amarillas representan la distancia entre la Tierra y esos astros.

6.2 La gravitación universal

Dice la leyenda que estando descansando Newton debajo de un manzano le cayó una manzana en la cabeza y se le ocurrió que caía porque la Tierra la atraía. Ése fue el origen de la teoría de la gravitación, que publicó a finales del siglo XVII ¡De tal forma se relaciona a Newton con la manzana que hasta se hacen muñecos!



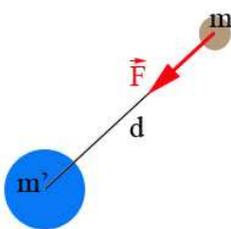
La Tierra atrae a los objetos con una fuerza que ya sabes que se llama peso. Pero se trata de una fuerza que se produce entre todos los cuerpos del universo por el hecho de tener masa, de forma que un cuerpo 1 atrae a un cuerpo 2, mientras que el cuerpo 2 a su vez atrae al cuerpo 1 (son dos fuerzas de acción y reacción).

La ley de gravitación universal

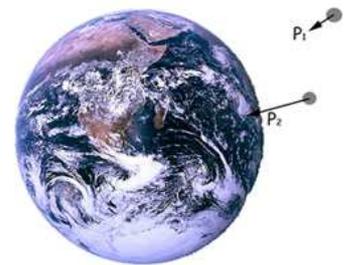
La fuerza de atracción gravitatoria **F** entre dos masas **m** y **m'** es:

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

donde **G** es la constante de gravitación universal ($6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$) y **d** es la distancia entre las dos masas.



La fuerza de atracción entre los cuerpos se produce en la dirección que los une, como puedes ver en la imagen. En el caso del peso de un cuerpo, va dirigida siempre hacia el centro de la Tierra, esté donde esté el cuerpo y tenga la masa que tenga.



Fíjate en que al duplicarse la masa de un cuerpo, la fuerza gravitatoria se duplica, mientras que al duplicarse la distancia, la fuerza de atracción se hace cuatro veces menor.

El valor de g

Si en la ley de gravitación universal **m'** es la masa de la Tierra (M_{Tierra}) y **d** su radio (R_{Tierra}), **F** será el peso **P** del objeto de masa **m** en la superficie de la Tierra, por lo que puedes deducir que el valor de **g** es:

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

$$P = mg$$

$$g = G \frac{m'}{d^2} = G \frac{M_{Tierra}}{R_{Tierra}^2}$$

Si sustituyes los valores de la masa de la Tierra ($5,97 \cdot 10^{24}$ kg) y de su radio medio (6371 km) obtendrás un valor de g de $9,81 \text{ N kg}^{-1}$. Es decir, una masa de un kg queda atraída por una fuerza de 9,81 N.

Significado y unidades de g

Como tiene dos significados diferentes, también tiene dos unidades distintas. Por un lado, es la aceleración de caída libre, que en la superficie de la Tierra y a nivel del mar es de $9,81 \text{ m s}^{-2}$, pero por otro es la fuerza con la que la Tierra atrae a una masa de un kg, que en las mismas condiciones tiene un valor de $9,81 \text{ N/kg}$.

6.3 El peso de los cuerpos

Cuando la fuerza gravitatoria la ejerce un astro sobre un objeto situado cerca de su superficie, la fuerza realizada se llama peso. Por esa razón se habla de peso en la Tierra, en la Luna, en Marte, etc.

Si aplicas la ley fundamental de la dinámica en la caída libre, en la que la única fuerza que actúa es el peso, tendrás que $\Sigma F = ma$ se reduce a $P = mg$, con lo que la aceleración de caída libre tendrá el valor de g , que es de $9,81 \text{ m s}^{-2}$.

El peso de los cuerpos y la altura

El valor de g obtenido es cierto para una distancia al centro de la Tierra de 6371 km, que es un valor promedio, ya que la Tierra está achatada por los polos. Naturalmente, al aumentar la distancia disminuye g , por lo que **el peso de los cuerpos es menor al aumentar la altura**. En la cima del Everest, que tiene 8,8 km de altura, tiene un valor de $9,78 \text{ m s}^{-2}$.



El peso en la Luna

En la superficie de la Luna la aceleración de la gravedad tiene un valor distinto, ya que los valores de su masa y su radio son distintos ($7,35 \cdot 10^{22}$ kg y 1737,4 km). Sustituyendo en la ley de gravitación universal, g tiene un valor de $1,62 \text{ m s}^{-2}$. Como es un valor muy pequeño, **los astronautas pesan mucho menos en la Luna que en la Tierra** (aproximadamente, la sexta parte), por lo que al moverse dan grandes saltos con facilidad.



La masa y el peso

La masa es la cantidad de materia de un objeto. Se mide en una balanza y su unidad de medida es el kilogramo.

El peso es una fuerza que resulta de la interacción de dos cuerpos con masa. Se mide con un dinamómetro y su unidad de medida es el Newton.

La masa es invariante, lo que quiere decir que no varía independientemente de dónde se encuentre; sin embargo, el peso puede variar dependiendo del lugar donde se encuentre.

El martillo y la pluma

Se trata de una de las experiencias más famosas realizadas en la historia de la ciencia. En la misión Apolo 15, el astronauta David R. Scott llevó a cabo en la Luna un **experimento inspirado en la idea de la caída libre de Galileo**: dos objetos de masa diferente caen con la misma aceleración en ausencia de rozamiento con el aire. En este caso tomó un martillo y una pluma y comprobó que caían llegando a la vez al suelo.

Aerodinámica

Ya has visto que el rozamiento del aire es muy apreciable: la bola y la hoja de papel, el martillo y la pluma, etc. Resulta especialmente importante en el movimiento de los automóviles, de forma que el consumo de combustible crece muy deprisa al aumentar la velocidad. Por esa razón se indica el consumo a 90 km/h, ya que a 120 km/h puede incrementarse en un 20 %.

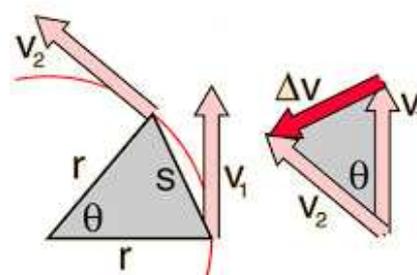
Para reducir este efecto los coches y camiones se construyen de manera que presenten la menor resistencia contra el aire; se dice que tienen coeficientes aerodinámicos pequeños, y por eso su parte delantera tiene forma de cuña. Además, los camiones suelen tener deflectores aerodinámicos entre la cabina y la caja de carga.



6.4 La fuerza centrípeta

Ya sabes que cuando la velocidad cambia de dirección hay aceleración, porque se produce un cambio en la velocidad. Esa aceleración recibe el nombre de centrípeta y la fuerza que la produce, provocando el cambio de dirección del móvil, se llama fuerza centrípeta.

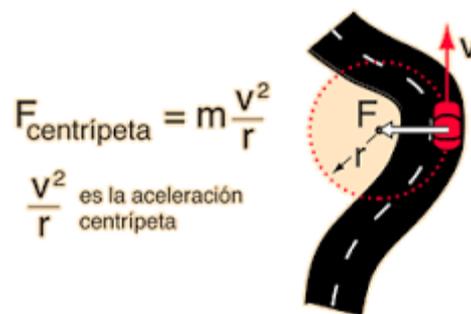
Si te fijas en la imagen, cuando el móvil se mueve y la velocidad pasa del vector v_1 al vector v_2 , la diferencia entre esos dos vectores está en la dirección del centro de curvatura de la trayectoria seguida por el móvil (el radio si es circular). Como el vector aceleración mide la variación del vector velocidad por unidad de tiempo, su dirección es precisamente la del centro de curvatura: por esa razón se llama centrípeta.



En el vídeo puedes ver lo que sucede cuando la trayectoria del móvil es poligonal y tiende a un círculo: en todos los casos la dirección de la aceleración es hacia el centro de la figura geométrica, tendiendo al centro del círculo conforme aumenta el número de lados.

¿De qué factores depende la aceleración centrípeta?

Cuanto más deprisa se mueve el móvil, más varía la dirección del vector velocidad por unidad de tiempo. Lo mismo sucede cuanto más cerrada es la curva que describe. Es decir, la aceleración es mayor cuanto mayor sea la velocidad v y menor el radio de curvatura r . Se puede demostrar (pero se deja para Bachillerato) que el módulo de la aceleración se calcula como v^2/r .



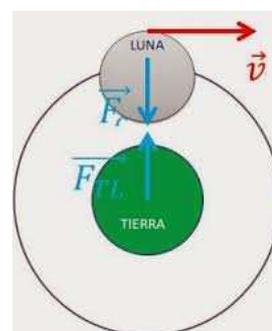
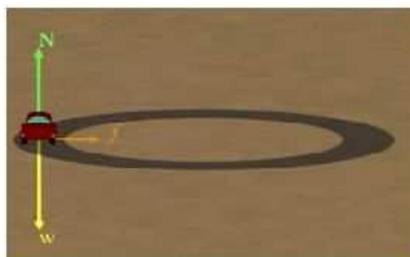
La aceleración centrípeta

Se produce cuando el movimiento no es rectilíneo, está dirigida hacia el centro de curvatura de la trayectoria y su valor es v^2/r .

Fuerza centrípeta

Como siempre que hay una aceleración, su causa es una fuerza: en este caso, la fuerza centrípeta. ¿Cuál es el origen de la fuerza centrípeta? Ahora vas a ver algunos ejemplos en movimientos circulares, que son los más sencillos e importantes en los que hay fuerzas centrípetas.

Fíjate en el lanzador de martillo, que gira para imprimir velocidad al aparato y que llegue lo más lejos posible cuando lo suelte. Como ves en la imagen, él es quien realiza la fuerza centrípeta, tirando de la cadena y evitando que la bola salga de la trayectoria.



Sistemas de referencia no inerciales: la fuerza centrífuga

Hasta ahora has trabajado con sistemas de referencia que están en reposo (o que se mueven con velocidad constante), que se llaman **sistemas inerciales** porque en ellos se cumplen las leyes de Newton: para que un cuerpo tenga aceleración ha de actuar sobre él una fuerza exterior.

Pero a veces hay que interpretar situaciones en las que **el sistema de referencia lleva aceleración, y se dice que es no inercial**. Ahora vas a ver cómo hay que proceder para poder aplicar las leyes de la dinámica en estos casos.

Seguro que te has fijado en que cuando un coche frena, un objeto situado en el asiento delantero sale lanzado hacia delante, o que si el coche toma una curva el objeto se desplaza hacia la puerta. Cuando el fenómeno se ve desde el punto de vista de un observador inercial, ve que el coche frena

o que está tomando una curva, y entonces sabe que como no actúa la fuerza de frenado o la centrípeta sobre el objeto, éste sigue con la velocidad que llevaba: adelanta al coche cuando frena, o se desvía cuando toma la curva.

¿Pero y si el observador está fijo dentro del coche y se mueve con su misma aceleración (sistema no inercial)? ¿Cómo puede interpretar que el objeto salga hacia delante o hacia la puerta si él no aprecia ninguna aceleración en el sistema de referencia?

La única solución para poder aplicar las leyes de la dinámica sobre el objeto que sale hacia adelante con aceleración o se sale de la curva, es suponer que es una fuerza ficticia la que produce esas aceleraciones. Esa fuerza se llama en general fuerza de inercia, y en el caso concreto de los movimientos circulares, fuerza centrífuga.

Observa en las imágenes cómo se debe utilizar la fuerza centrífuga. De todos modos, en este curso solamente vas a usar sistemas de referencia inerciales, por lo que no vas a necesitarla.



La fuerza centrífuga

Las fuerzas de inercia no son fuerzas reales, sino ficticias: la fuerza centrífuga no existe, ya que los efectos observados los produce la ausencia de fuerza centrípeta.

Tema 5. Fluidos

Hasta ahora has trabajado solamente con sólidos, pero sabes que la materia se puede encontrar también en otros estados de agregación: líquido y gas, que reciben el nombre de fluidos, precisamente por su capacidad de fluir de un recipiente a otro, y que vas a estudiar en este tema.

¿Te has preguntado si los líquidos y gases ejercen alguna fuerza sobre las paredes de los recipientes que los contienen, o sobre los objetos que están en contacto con ellos? Y en el supuesto de que la contestación sea afirmativa, ¿qué efecto tienen esas fuerzas?

Analizando el comportamiento de los fluidos podrás dar explicación a muchos hechos que puedes ver en tu entorno:

- ¿Por qué en los relojes sumergibles se especifica la profundidad máxima a la que se pueden introducir?
- ¿Cómo funciona un elevador hidráulico?
- ¿Cómo puedes justificar que un gran portaaviones flote en el mar?
- ¿Es posible conseguir que el agua hierva a temperatura ambiente?
- ¿Qué explicación encuentras para la implosión de la cisterna?
- En alguna película de ciencia-ficción (Desafío total o Atmósfera cero, por ejemplo) habrás visto que si el traje que lleva el astronauta se rompe las consecuencias son terribles. ¿Qué sucede? ¿Por qué?



1. La presión

En este curso ya has estudiado las fuerzas, centrándote en sus efectos acelerador y deformador. Ahora vas a trabajar con otra magnitud directamente relacionada con la fuerza y en cuyo análisis ya te iniciaste en cursos pasados. Se trata de la **presión**.

Seguramente habrás observado que cuando caminas por la playa, te hundes más si andas de puntillas que si lo haces normalmente, con los pies planos. La fuerza que ejerces sobre el suelo es la misma (¡tu peso!), pero la superficie sobre la que se aplica dicha fuerza es diferente. Al andar de puntillas, la superficie es menor, y entonces se dice que ejerces una **presión mayor**.

De la misma forma has podido comprobar que las raquetas son especialmente útiles cuando tienes que caminar sobre una superficie nevada. El razonamiento es el mismo: la raqueta proporciona una mayor superficie de



contacto, por lo que ejerciendo una misma fuerza la presión ejercida es menor. El uso de las raquetas impide que te hundas en la nieve.

¿Qué es la presión?

La presión es una magnitud física que se define como la fuerza ejercida por unidad de superficie: el efecto de una fuerza depende de la fuerza realizada y de la superficie sobre la que actúa.

$$P = \frac{F}{S}$$

Como en el Sistema Internacional la fuerza se mide en newtons (N) y la superficie en metros cuadrados (m^2), la unidad de medida de la presión es el N/m^2 , llamado **pascal (Pa)**.

Unidades de presión

Sin embargo, el pascal es una unidad muy pequeña; para que te hagas una idea, una manzana de tamaño medio apoyada sobre la palma de la mano ejerce una presión aproximada de 1000 Pa. Por esta razón es frecuente utilizar otras unidades.

$$101300 \text{ Pa} = 1,013 \text{ bar} = 1013 \text{ mbar} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$$

2. Presión en los líquidos

Qué es la presión hidrostática

Ya sabes que un sólido ejerce una fuerza igual a su peso sobre la superficie que lo soporta. Los líquidos también pesan; por tanto, ejercerán una fuerza sobre la base del recipiente que los contiene. Pero, a diferencia de los sólidos, los líquidos ejercen fuerzas sobre las paredes del recipiente, fuerzas que son perpendiculares a dichas paredes. Este hecho se puede comprobar si se llena una botella de plástico con agua y se agujerea en diferentes puntos con una aguja: el agua sale a chorros de la botella por los agujeros, perpendicularmente a la superficie.



La existencia de dichas fuerzas indica que los líquidos ejercen una presión no sólo sobre el fondo del recipiente que los contiene, también sobre las paredes. A la presión ejercida por los líquidos se le denomina **presión hidrostática**.

Características de la presión hidrostática

- **Actúa en todas direcciones.**

Es decir un líquido ejerce presión sobre cualquier superficie con la que esté en contacto tal y como has podido apreciar en la imagen anterior.

- **Aumenta con la profundidad.**

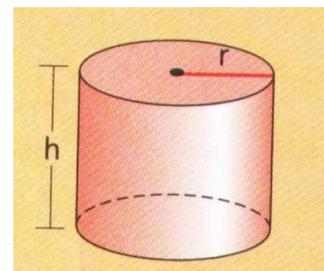
Esta afirmación puedes comprobarla en la imagen. Observa que el agua que sale por el orificio inferior llega más lejos: tiene mayor alcance ya que la presión ejercida por el agua en este punto de mayor profundidad es más grande.

- Depende de la densidad del líquido.

La presión se debe al peso del líquido, por lo que cuanto más denso sea el líquido mayor será la presión que ejercerá.

Ecuación fundamental de la hidrostática

Ahora vas a ver cómo se deduce cómo depende numéricamente la presión hidrostática de la densidad del líquido y la profundidad. Con ese fin, fíjate en el cilindro de la imagen, de radio r y que contiene un líquido de densidad d hasta una altura h .



Debes tener en cuenta que el recipiente es ideal y no tiene peso, por lo que la presión la ejerce solamente el líquido.

Como sabes, el volumen del cilindro es el área de su base por la altura: $V = Sh$

Teniendo en cuenta que la densidad es la relación entre masa y volumen ($d = m/V$), la masa de líquido que hay en el cilindro es $m = dV$, es decir, $m = dSh$. Y la fuerza que ejerce el líquido sobre la base del recipiente es su peso, $F = mg = dShg$.

En resumen, la presión hidrostática, que es la relación entre la fuerza realizada y la superficie sobre la que se ejerce es:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{dShg}{S} = dgh$$

La presión hidrostática

La presión hidrostática depende de la naturaleza del líquido (densidad), de la profundidad (h) y del valor de la aceleración de la gravedad (g), siendo proporcional a cada una de esas magnitudes.

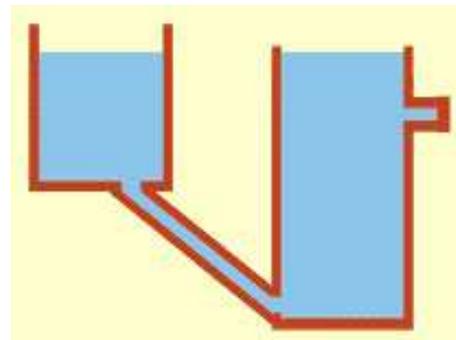
$$P = dgh$$

2.1 Aplicaciones de la presión hidrostática

Los vasos comunicantes

La expresión que permite calcular la presión hidrostática muestra que si dos recipientes contienen el mismo líquido y se llenan hasta la misma altura, la presión que se ejerce en el fondo es idéntica en los dos casos, independientemente de la cantidad de líquido que contenga el recipiente, de la forma del mismo y de la superficie de la base.

Fíjate en la imagen. Observa que el agua llega hasta el mismo nivel en los dos depósitos, tanto cuando se llenan como cuando se vacían.



3. Principio de Pascal

Los líquidos y los gases entran dentro de la denominación genérica de fluidos. Sin embargo, los líquidos, a diferencia de los gases, prácticamente no se pueden comprimir, ya que como muy bien sabes las partículas que intervienen en su constitución están muy próximas entre sí. Este hecho permite justificar la fluidez y falta de compresibilidad que caracterizan al estado líquido.

Así pues, cuando se produce un aumento de presión en una zona de un material en estado líquido, se provoca el desplazamiento de éste hacia las otras zonas. El líquido desplazado ejerce una fuerza y, por tanto, una presión sobre el resto del líquido. Esta **presión se transmite por todo el líquido sin pérdida de intensidad**, ya que no se comprime.

Este hecho fue descrito por el físico francés Blas Pascal y se conoce como el **principio de Pascal**. Recuerda que la unidad de medida de la presión en el Sistema Internacional lleva el nombre de este científico.

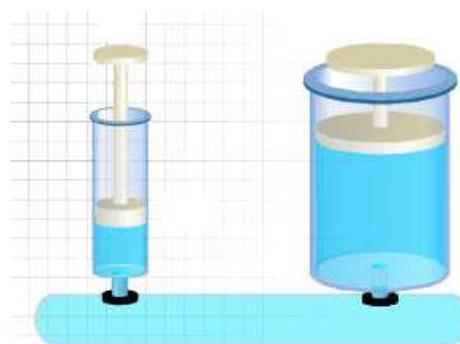
Ten en cuenta que en un gas el aumento de presión también se transmite, pero no con la misma intensidad, puesto que el gas se comprime. Por esta razón **el principio de Pascal sólo es válido en el estado líquido**.

El principio de Pascal

Un aumento de presión en una zona de un líquido encerrado en el interior de un recipiente se transmite con la misma intensidad y en todas direcciones al resto del líquido.

La prensa hidráulica

Cómo puedes observar en la imagen, una prensa hidráulica está formada por dos depósitos comunicados por un líquido sobre los que se sitúan dos pistones de diferentes superficies (S_p y S_g).



Según el Principio de Pascal, la presión ejercida en cualquier punto del líquido se transmite íntegramente a cualquier otro. Por tanto, como la presión es constante, si sobre el pistón de menor superficie (S_p) se ejerce una fuerza (F_p), la fuerza que se transmita al pistón de mayor sección (S_g) será F_g , de mayor intensidad que F_p .

$$\text{Si } P_p = P_g; F_p/S_p = F_g/S_g; \text{ por tanto si } S_g > S_p, F_g > F_p.$$

En definitiva una **prensa hidráulica** puede ser considerada como un **dispositivo que permite multiplicar fuerzas**.

Aparatos hidráulicos

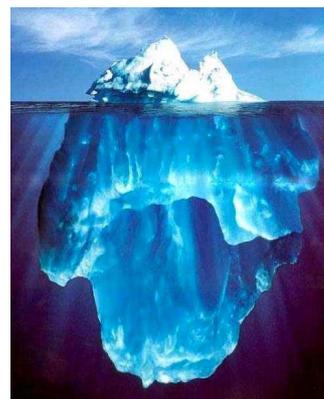
En los aparatos hidráulicos se cumple que la relación entre la fuerza aplicada a un pistón y su superficie es constante y se transmite sin pérdidas por el líquido. Es decir:

$$\frac{F_g}{S_g} = \frac{F_p}{S_p} \quad F_g = \frac{S_g}{S_p} F_p$$

4. Principio de Arquímedes

Seguro que sabes que el hielo no se hunde cuando se introduce en agua. Y es posible que tú mismo hayas percibido la sensación de flotar cuando te bañas en el mar. Es como si el agua salada contribuyese a mantenerte a flote: tu peso está siendo contrarrestado por una fuerza que va hacia arriba, que se denomina **empuje**.

Hace más de 2000 años, el matemático y físico griego **Arquímedes** descubrió cómo calcular el empuje. Parece ser que encontró la solución cuando se metió en una bañera llena de agua para tomar un baño. La leyenda dice que salió corriendo gritando *eureka*, que significa *ya lo tengo*.



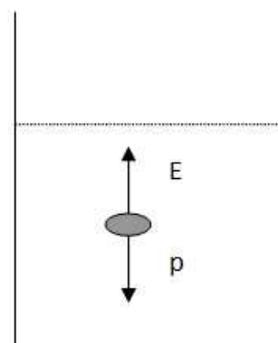
¿Flota o se hunde?

Para saber si un objeto que se coloca en un líquido flota o se hunde, solamente tienes que comparar cómo son su peso y el empuje que actúa sobre él cuando está totalmente sumergido (en ese estado, el volumen sumergido coincide con el del objeto).

Siendo $d_{\text{sólido}}$ la densidad del cuerpo y $d_{\text{líquido}}$ la del líquido, cuando el objeto está totalmente sumergido dentro del líquido el peso y el empuje tienen los siguientes valores:

Peso: $p = m_{\text{sólido}} g = V_{\text{sólido}} d_{\text{sólido}} g$

Empuje: $E = \text{peso de fluido desalojado} = m_{\text{líquido}} g = V_{\text{sólido sumergido}} d_{\text{líquido}} g$
 $E = V_{\text{sólido}} d_{\text{líquido}} g$



Si $p > E$ el cuerpo se hundirá e irá al fondo ($d_{\text{sólido}} > d_{\text{líquido}}$).

Si $p = E$ el cuerpo permanecerá en equilibrio ($d_{\text{sólido}} = d_{\text{líquido}}$).

Si $p < E$ debido a que $d_{\text{sólido}} < d_{\text{líquido}}$ el cuerpo ascenderá hasta emerger parcialmente, con lo que el volumen sumergido será menor que el total, y disminuirá el empuje hasta que coincida con el peso (¡fíjate en la imagen del iceberg!).

Principio de Arquímedes

Arquímedes estableció que **cuando un objeto está total o parcialmente sumergido en un fluido (líquido o gas) experimenta un empuje, vertical y hacia arriba, que tiene por valor el peso del fluido desalojado.**

El empuje es una fuerza, y como es una magnitud vectorial hay que determinar su magnitud, dirección y sentido.

Magnitud del empuje: es el peso del fluido desalojado. Depende por tanto de la densidad del fluido y del volumen de éste que es desalojado como consecuencia de la inmersión del sólido. Ten

en cuenta que el volumen del fluido desalojado solo será coincidente con el del sólido cuando éste esté totalmente sumergido.

Dirección del empuje: vertical.

Sentido del empuje: hacia arriba.

La fuerza empuje es un ejemplo de fuerza transmitida por contacto y obviamente es ejercida por el fluido en tanto en cuanto el sólido está en contacto con él.

5. La presión atmosférica

Como sabes, la Tierra está rodeada por una envoltura gaseosa denominada atmósfera. Aunque como no lo vemos, no somos conscientes de que el aire tiene masa y peso, y por lo tanto ejercerá una presión sobre la superficie de la Tierra.

El espesor, o sea, la altura de la atmósfera, es aproximadamente de unos 10000 km. Hay, por tanto, una gran cantidad de aire encima de la Tierra. Este aire pesa y, por consiguiente, al igual que ocurría con los líquidos, ejercerá una presión sobre cualquier cuerpo que esté en contacto con él. Esta presión, al ser la presión ejercida por la atmósfera, se denomina presión atmosférica.

Al nivel del mar, la presión que ejerce la atmósfera es de, aproximadamente, 101000Pa.

La altura y la presión atmosférica

Fíjate en el simulador siguiente. Puedes comprobar cómo a medida que el globo asciende la presión atmosférica disminuye. Observa que en este caso la presión viene medida en milibares (mb) que no es la unidad de medida de la presión en el Sistema Internacional (SI), pero es una unidad utilizada con cierta frecuencia por lo que conviene que conozcas su equivalencia con el pascal: 100 Pa = 1 mbar, como has podido ver en la simulación que presenta las distintas unidades de presión.

Al ser la presión ejercida por un fluido (aire), de acuerdo con la expresión de la presión hidrostática ($P=dgh$) depende fundamentalmente de la altura, es decir, del espesor de la capa de aire que hay encima del punto donde se mide la presión.

Por esta razón, en una montaña, la presión será menor que a nivel del mar, ya que el espesor (altura) de aire que hay encima de ella también es menor. Así pues, **la presión atmosférica disminuye con la altura.**

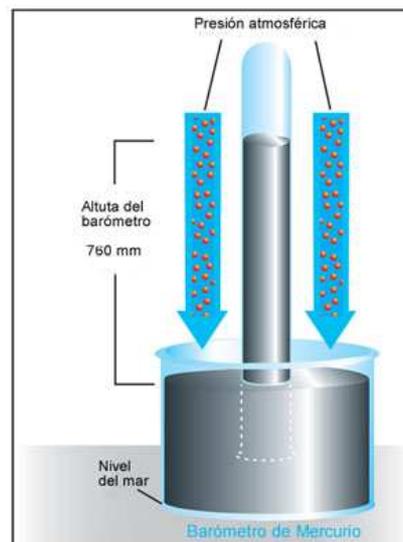
De la misma manera que ocurre con los líquidos, el aire ejerce presión en todos los puntos y, por tanto, produce fuerzas perpendiculares a las superficies que están en contacto con él.



Nosotros no somos aplastados por la presión atmosférica porque nuestra presión interna es casi igual a la exterior. No obstante, nuestros oídos son muy sensibles a los cambios de presión. Así, si vamos en un coche y subimos rápidamente una montaña, notaremos sordera debido a que la presión exterior disminuye.

5.1 Medida de la presión atmosférica

La presión atmosférica se mide con instrumentos que se denominan **barómetros**. El italiano Torricelli (1606-1647), discípulo de Galileo, realizó diferentes experimentos para comprobar la existencia de la presión atmosférica. Para ello construyó lo que hoy llamamos un barómetro de mercurio. La experiencia consiste en llenar con mercurio un tubo largo de vidrio (de 1 m de longitud) cerrado por uno de sus extremos. El tubo se invierte y se introduce en una cubeta que también contiene mercurio, y éste desciende hasta alcanzar una altura de unos 760 mm. En la parte superior hay vacío.



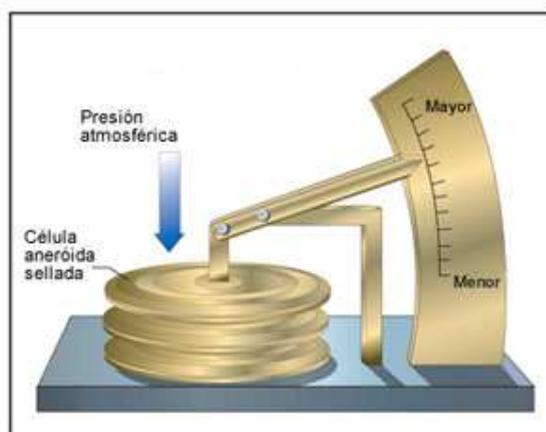
Equivalencias en la medida de la presión atmosférica

La presión ejercida por la atmósfera al nivel del mar es la misma que la que ejerce una columna de mercurio de 76 cm de altura, por lo que se cumple que:

$$1\text{atm} = 760\text{ mm de Hg} = 101300\text{ Pa}$$

Instrumentos de medida de la presión atmosférica

El barómetro de mercurio es preciso, pero poco práctico, ya que es delicado y difícil de transportar. Un barómetro más manejable es el **barómetro aneróide**. Consiste en una caja metálica de paredes flexibles a la que se le ha extraído el aire, y se ha conseguido un vacío parcial. La deformación de la caja, a causa de la presión atmosférica, se transmite a una aguja que indica, en una escala previamente calibrada, el valor de la presión, como puedes ver en las imágenes siguientes.



5.2 Aplicaciones de la presión atmosférica

El vacío

En un contexto físico, el vacío representa la ausencia total de materia en un determinado lugar. Sin embargo, la situación de vacío total es difícil de alcanzar por lo que el término se utiliza haciendo referencia a cierto espacio lleno de gases si la presión ejercida por éstos es menor que la presión atmosférica. Así pues, el grado de vacío aumenta a medida que disminuye la presión del gas. Por tanto cuanto más disminuya la presión, mayor vacío se obtiene.

Cuando Torricelli realizó la medición de la presión atmosférica con la experiencia descrita en la simulación que has visto antes consiguió el primer vacío hecho por el hombre.

Actualmente hay unos aparatos llamados **bombas de vacío** que son dispositivos preparados para poder extraer el aire contenido en un determinado recipiente. Cuanto mayor sea la cantidad de aire extraído, menor será la presión interior y se dice que hay más vacío.

En este video puedes observar los efectos producidos tras realizar el vacío en un recipiente: se deja de oír un timbre, se hincha un globo y el agua comienza a hervir por debajo de su temperatura de ebullición. Verás estas experiencias en vivo en el laboratorio.

También es vacío lo que se genera en el interior de los hemisferios de Magdeburgo, tal y como puedes apreciar en la última pantalla de la simulación de Torricelli.



Borrascas y anticiclones

Es importante que sepas que hay una estrecha relación entre el tiempo meteorológico y la presión atmosférica. De hecho, lo que habitualmente denominamos buen tiempo (cielo despejado) viene acompañado de valores altos de presión (**anticiclón**) y, por el contrario, el mal tiempo (nuboso o lluvioso) de valores de presión bajos (**borrasca**).

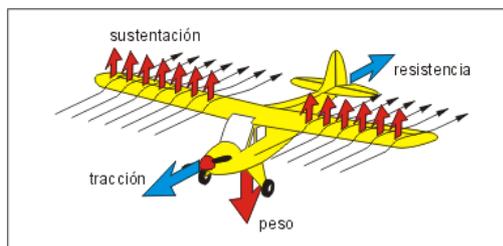
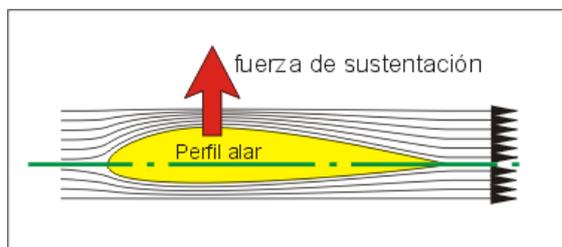


A partir de ahora, cuando observes los mapas del tiempo que suelen aparecer en televisión o en los periódicos fíjate en las curvas que aparecen. Son las **isobaras**, curvas que unen puntos que se encuentran a la misma presión (este término procede del latín: *iso* con significado *igual*, y el término *bara* que se refiere a presión). El mismo sentido tiene la unidad milibar (mb), de manera que una atmósfera son 1013 milibares, aunque ahora se ha puesto de moda medir la presión atmosférica en hectopascales (obviamente, un hPa son 100 Pa).

¿Por qué vuelan los aviones?

Para que un avión pueda volar, debe haber una fuerza ascensional que compense a su peso: si es mayor, el avión sube, y si es menor, baja.

El origen de esa fuerza ascensional es la forma del perfil de las alas, que al paso del aire crea la fuerza de sustentación. La curvatura de este perfil obliga al aire a pasar a mayor velocidad por encima que por debajo, causando una diferencia de presiones, más baja arriba que abajo, con lo cual el avión tenderá a subir.



Evidentemente, es necesario impulsar el avión hacia delante con una fuerza de tracción en contra de la resistencia al aire, para que el ala pueda crear la fuerza de sustentación necesaria para vencer el peso del avión. Con ese fin giran las hélices o los turborreactores.

Tema 6. Energía

Pocas cosas hay tan divertidas y emocionantes como una buena montaña rusa. Seguro que conoces alguna: cuando están subiendo por primera vez, los vagones están acumulando energía debido a la altura. Esta energía se va a aprovechar en todo el recorrido, generando grandes velocidades y alcanzando otras subidas y bajadas. En este tema vas a estudiar, entre otras cosas, qué tipos de energías se manifiestan en las montañas rusas y cómo se transforman unas en otras.

También analizarás situaciones que ya has resuelto en los temas anteriores, utilizando las ecuaciones del movimiento o las leyes de la dinámica, y verás que el tratamiento energético resulta casi siempre mucho más sencillo de realizar.

Vas a comenzar con un ejemplo sencillo. Piensa en lo que cenaste ayer y en lo que has desayunado esta mañana. Estos alimentos te han "**cargado de energía**" para poder realizar todas las tareas y trabajos de un día ajetreado (venir al Instituto, hablar con tus compañeros, practicar deporte en Educación Física, jugar al baloncesto en los recreos, incluso para realizar los exámenes,...). Todo son cambios o transformaciones que tu cuerpo ha realizado por el hecho de tener energía.



Por eso es muy común la expresión "**estoy bajo de energía**", cuando notamos que estamos débiles y nos cuesta realizar trabajos o tareas.

No solo tú necesitas energía para realizar un trabajo. **Todos los cambios que se observan en la naturaleza necesitan energía**: el encendido de una bombilla, el funcionamiento de una máquina, el calentamiento de un objeto...



Una de las formas de modificar la energía que tiene un objeto es comunicarle **energía en forma de calor**, aumentando su **temperatura**. El calor y la temperatura forman parte de tu vida diaria, pero son conceptos que en pocas ocasiones se utilizan de una forma científicamente correcta.

Ese es el error que se comete, por ejemplo, cuando se afirma que la temperatura "mide el calor que hace", o cuando de una persona que tiene fiebre se dice que "tiene calor".

La confusión entre los términos calor, temperatura y energía térmica hasta da lugar a chistes como éste de Romeu, publicado en un periódico de difusión nacional hace unos años.

1. Energía mecánica

Se denomina **energía** a la capacidad que tienen los cuerpos de **interaccionar y producir cambios en su entorno y en ellos mismos**.

Habrás oído hablar de diferentes tipos de energía: la **energía nuclear**, que es la energía que se libera en las reacciones nucleares, la **energía eléctrica**, que suministran las pilas, la **energía térmica**, contenida en los cuerpos que están a temperatura diferente, ...

Como ves, **la energía puede adoptar diferentes formas**, y además **se puede transformar de una forma a otra**. Por ejemplo, la energía eléctrica suministrada a un motor se transforma en energía en movimiento, es decir, energía cinética: cuando el ventilador se conecta a la red eléctrica, las aspas comienzan a girar.



La energía se puede presentar de diferentes formas. En primer lugar vas a ver un tipo de energía, llamada **energía mecánica**, que está relacionada, la mayoría de las veces, con máquinas y movimientos.

Esta energía se puede encontrar de dos formas: la **energía potencial**, relacionada con la posición que ocupan los cuerpos, y la **energía cinética**, que tiene que ver con su velocidad.

Unidades de energía

En el Sistema Internacional la energía se mide en **julios (J)**. Para cantidades grandes de energía se suele utilizar el **kilojulio, kJ** (1000 J).

Otras unidades de uso frecuente son la **caloría** (1 cal = 4,18 J), la **kilocaloría (kcal)** y el **kilowatio-hora** (1 kWh = 3,6 10⁶ J).

1.1 Energía potencial

Una piedra que se encuentra a una determinada altura tiene energía. De hecho, si la dejas caer chocará contra el suelo y puede producir una deformación si se encuentra con otro objeto, o con el suelo, si éste es demasiado blando. Esta energía debido a la posición que ocupa, a su altura, recibe el nombre de **energía potencial gravitatoria**.

¿Qué ocurrirá si elevas aún más la piedra y la dejas caer? Pues que has incrementado su energía potencial, y eso lo sabes porque el efecto producido es mayor cuanto mayor es la altura desde la que dejas caer la piedra.

Además, también sabes que el efecto producido por la piedra al caer es mayor al aumentar su masa.

En conjunto, la energía potencial gravitatoria es proporcional a la altura a la que se encuentra el objeto y a su masa, de acuerdo con la expresión **$E_p = mgh$** , siendo g la aceleración de la gravedad (y la intensidad del campo gravitatorio, 9,8 N/kg).



Fíjate en la imagen. Si el trapecio está a gran altura, conviene poner una red, porque si las trapecistas caen pueden sufrir lesiones muy importantes.

Energía potencial gravitatoria

Se denomina energía potencial a la forma de energía que posee un cuerpo asociada a la posición y a los cambios en la misma, y se calcula mediante la expresión:

$$E_p = mgh$$

Cambiando la energía potencial gravitatoria

Para que un cuerpo adquiera energía potencial, tienes que aportarle energía para llevarlo desde una posición inicial, el suelo por ejemplo, a una posición final a una altura determinada.

Al elevar la piedra estás transfiriéndole tu energía, convirtiéndola en energía potencial que queda "almacenada" en la piedra. ¿Qué pasará si la sueltas? Que la piedra vuelve a su posición inicial, cayendo al suelo. Esto sucede porque **los cuerpos tienden a ocupar la posición de menor energía potencial** posible.

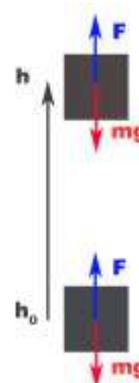
No se suele hablar del valor absoluto de una energía potencial a una determinada altura, sino de diferencias de energía potencial.

Por tanto, el incremento de energía de un cuerpo cuando pasa de una altura inicial h_0 a una altura final h será:

$$\Delta E_p = E_{p,f} - E_{p,o} = mgh - mgh_0$$

Por convenio se suele tomar el suelo como nivel cero de energía potencial, es decir, $h_0=0$, y así queda la expresión todavía más sencilla:

$$\Delta E_p = mgh$$



Fíjate en que si el objeto sube, la variación de energía potencial es positiva, aumentando la cantidad de E_p que tiene el objeto, mientras que si baja su E_p disminuye.

Otros tipos de energía potencial

Existen otros tipos de energía potencial diferentes de la gravitatoria. Seguro que conoces la **elástica**, relacionado con la compresión de los muelles, o la **electrostática**, que tiene que ver con la atracción o repulsión entre cargas. En todos los casos se trata de energía "almacenada".

1.2 Energía cinética

Un automóvil moviéndose, una bala recién disparada, una manzana cayendo o un cohete despegando tienen energía cinética. También cuando corres una carrera tienes energía cinética, y cuanto mayor sea tu velocidad, más energía tendrás.



Además, esta energía, como todas las demás formas de energía, puede transferirse y producir cambios o transformaciones en otros cuerpos.

Piensa en una bala disparada a gran velocidad hacia un objeto y en cómo lo dejará tras el impacto. En el vídeo puedes ver los efectos devastadores de una bala sobre un huevo, un vaso de leche, una manzana, un bote de ketchup, una botella de agua y una sandía.

¿Y si la bala se dispara con un cañón? Entonces el proyectil tiene mucha más masa y más energía, así que los efectos producidos son todavía más importantes.

Energía cinética

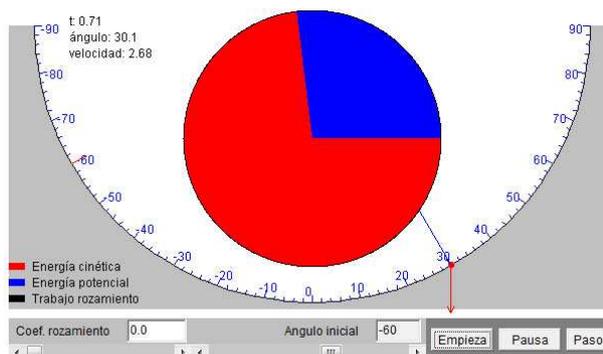
Se denomina energía cinética a la forma de energía asociada a la velocidad de un cuerpo: todos los cuerpos en movimiento tienen energía cinética.

Se calcula como $E_c = \frac{1}{2} m v^2$, siendo **m** la **masa del cuerpo** en kg y **v** su **velocidad** en m/s.

1.3 Conservación de la energía mecánica

La energía mecánica, E_m , es la suma de la energía cinética, E_c , y de la energía potencial, E_p , por lo que puedes escribir que $E_m = E_c + E_p$.

De esta forma, si no comunicas energía al sistema (empujando al objeto que se mueve) ni se la quitas (frenándolo, por ejemplo) **la energía mecánica de un sistema se conserva**, es decir, **permanece constante**.



Observa la simulación. Corresponde a un cuenco muy pulido (debes fijar rozamiento cero) y a una bolita que se deja caer desde una determinada altura. ¿Cómo se mueve la bolita en el cuenco semiesférico?

Comienza poniendo a cero el coeficiente de rozamiento, y deja la posición inicial en un ángulo de 60°. Pulsa Empieza y observa el movimiento de la bolita: en el punto más alto del recorrido, su energía cinética es cero y toda la energía mecánica está almacenada en forma de energía potencial. Conforme desciende, disminuye la energía potencial y aumenta la energía cinética, al ir adquiriendo progresivamente velocidad. En el punto más bajo de la trayectoria, toda su energía potencial se ha transformado en energía cinética.

Pero continúa su movimiento, ascendiendo por la rampa circular, hasta que llega al punto más alto, en el que instantáneamente se detiene: justo en ese momento, toda la energía cinética se ha vuelto a transformar en potencial, y como no ha perdido nada llega a la misma altura desde la que se dejó caer, 60°. ¡Y ese movimiento continuaría así indefinidamente, ya que la energía mecánica se conserva!

Fíjate en que en cualquier punto del recorrido, **la suma de ambas energías, potencial y cinética, permanece constante.**

¿Qué sucede cuando **hay rozamiento**? La bola debe gastar energía para moverse venciendo el rozamiento con la superficie de apoyo; por tanto, va perdiendo energía y cada vez llega a una altura menor, hasta que acaba deteniéndose. La **energía perdida por rozamiento se transforma en calor**, que en parte absorbe la bola aumentando su temperatura.

Ahora puedes experimentar con diferentes alturas iniciales y con otros coeficientes de rozamiento. ¿Eres capaz de predecir lo que va a suceder en cada caso?

Ley de conservación de la energía mecánica

En ausencia de rozamiento, la suma de las energías potencial y cinética (energía mecánica) permanece constante.

$$E_m = E_c + E_p = \text{constante}$$

La montaña rusa

En este simulador de montaña rusa puedes ver cómo varían las energías potencial y cinética conforme las vagonetas se desplazan, atravesando incluso un looping, de forma que su suma es constante.



2. Trabajo

En la vida diaria es muy frecuente oír expresiones como "tengo bastante trabajo", "hace falta mucho trabajo para conseguirlo", etc. Se hace referencia a que se necesita esfuerzo para realizar la actividad de que se trate, y, además, durante bastante tiempo.

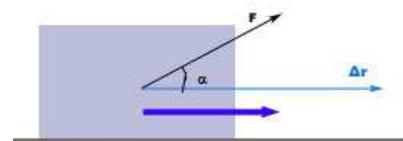
Pero en Física hay una magnitud llamada **trabajo**, que está relacionada con las expresiones anteriores pero que no tiene exactamente el mismo significado.

Imagina que estás hablando con alguien mientras sostienes tu mochila. ¿Estás realizando un trabajo? La respuesta es no. **No debes confundir esfuerzo con trabajo**: en Física se realiza un trabajo cuando la fuerza se aplica en la dirección de desplazamiento del objeto, que modifica su energía por acción de esa fuerza. Por tanto, aunque estés aplicando una fuerza al sujetar la mochila, como la mochila no se desplaza ni modifica su energía, no realizas un trabajo.

Concepto de trabajo



El trabajo realizado por una fuerza es igual al producto de la fuerza por el desplazamiento durante el cual está actuando y se expresa como: **$W = F d$**



La fuerza y el desplazamiento deben tener la misma dirección. Pero no siempre ocurre así: fíjate en lo que sucede cuando tiras de una maleta que arrastras por el suelo. En este caso la dirección no es la misma y el trabajo será el producto del desplazamiento por la proyección de la fuerza F sobre la dirección de dicho desplazamiento (F_x): **$W = F_x d$**

Por tanto, el trabajo de una fuerza puede ser:

- a) **Positivo** si la fuerza y el desplazamiento tienen el mismo sentido. En este caso **se incrementa la energía** del cuerpo.
- b) **Nulo** si la fuerza es perpendicular a la dirección del desplazamiento. La **energía del cuerpo no varía**.
- c) **Negativo** si la fuerza y el desplazamiento tienen sentidos contrarios. En este caso la **energía del cuerpo disminuye**. Es lo que ocurre con **las fuerzas de rozamiento**, que realizan un trabajo negativo sobre el cuerpo.

Unidades de trabajo

La **unidad del trabajo en el Sistema Internacional es el julio (J)**. Es el trabajo realizado por una fuerza de un newton actuando una distancia de un metro.

Fíjate en que **tiene las mismas unidades que la energía**, ya que **el trabajo es una de las formas de modificar la energía de los cuerpos**.

2.1 Cambios de energía

Ya has visto que existe una relación entre el trabajo y la energía. De hecho, **el trabajo es una forma de transferir energía de un cuerpo a otro**.

Así, si realizas un trabajo sobre un cuerpo, por ejemplo al empujar una caja sobre un plano horizontal, ese trabajo se invierte en **augmentar la energía cinética** de la caja, que se mueve a mayor velocidad.

¿Y si subes la caja verticalmente a velocidad constante? Entonces **augmentas su energía potencial**.

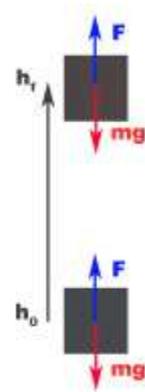
Si es el cuerpo el que realiza el trabajo, está transfiriendo energía a otro cuerpo. Piensa en dos patinadores y en cómo varían su energía cinética cuando chocan: un patinador disminuye su velocidad y el otro la aumenta.

Trabajo y energía potencial

Si sobre un cuerpo de masa m aplicas una fuerza igual a su peso dirigida verticalmente hacia arriba entonces lo haces subir a velocidad constante (¡como la fuerza total es nula, la aceleración también lo será!). Si su altura se incrementa en h metros, desde una altura inicial h_0 a una altura final h_f , el trabajo realizado será:

$$W = F d = mg\Delta h = mg(h_f - h_0) = mgh_f - mgh_0 = E_{p,f} - E_{p,o} = \Delta E_p$$

Es decir, **el trabajo realizado por una fuerza sobre el cuerpo es igual a la variación de la energía potencial gravitatoria del cuerpo.**



Trabajo y energía cinética

Pero si la fuerza aplicada sirve solamente para aumentar la velocidad del objeto, entonces estás aumentando su energía cinética. ¿Qué relación hay entre el trabajo realizado por la fuerza y la energía cinética?

Fíjate en la demostración siguiente. Lo realmente importante es la conclusión que se alcanza, pero debes darte de cuenta de que se trata simplemente de relacionar adecuadamente expresiones que ya conoces.



A partir de las ecuaciones de la cinemática

$$v_f = v_o + at \quad x = x_o + v_o t + \frac{1}{2} at^2$$

puedes obtener que $v_f^2 - v_o^2 = 2ad$ siendo $d=x-x_o$ el espacio recorrido por el móvil, durante el cual se está aplicando la fuerza F .

Si tienes en cuenta la ley fundamental de la dinámica, $F = ma$, sustituyes la aceleración en la ecuación anterior y despejas el valor de F resulta que:

$$v_f^2 - v_o^2 = 2 \frac{F}{m} d \Rightarrow F = \frac{m}{2d} (v_f^2 - v_o^2)$$

$$W = Fd = \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_o^2) = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_o^2 = E_{c,f} - E_{c,o} = \Delta E_c$$

Por tanto, **el trabajo realizado por la fuerza sobre un cuerpo es igual a la variación de la energía cinética que experimenta ese cuerpo.**

$$W = \Delta E_c$$

Trabajo de las fuerzas que se oponen al movimiento

Ahora vas a considerar las fuerzas de frenado y las de rozamiento, que se oponen al movimiento y hacen disminuir la velocidad de los móviles y su energía cinética.

¿Qué sucede con la energía perdida? En realidad no se pierde. Frótate las manos, apretándolas con intensidad. Para deslizar una contra otra tienes que vencer la fuerza de rozamiento entre ellas, de forma que el trabajo que realizas para conseguirlo se invierte en aumentar un tipo de energía que está relacionado con la temperatura y que se llama **energía térmica**.



Trabajo y energía

El trabajo que realiza una fuerza externa que actúa sobre un objeto sirve para aumentar su energía potencial, su energía cinética o ambas.

El trabajo de las fuerzas de rozamiento hace disminuir la energía mecánica del objeto. Esa energía perdida se transfiere en forma de calor entre los cuerpos implicados en el proceso, aumentando su energía térmica y su temperatura.

El trabajo y el calor son dos formas de transferir energía entre los cuerpos, modificando su energía.

Una frase para la historia

"La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma"

Es otra forma de explicitar el principio de conservación de la energía: si un cuerpo gana energía es porque otro la pierde, transfiriéndose la energía de uno a otro en forma de trabajo o en forma de calor.

3. Potencia

Imagina que un amigo y tú lleváis a su casa dos cajas de 5 kg cada una y os encontráis con que el ascensor no funciona, así que no os queda más remedio que subir los cinco pisos por las escaleras. Tu amigo, que es un poco lento, tarda tres minutos en llegar, pero tú eres más rápido y llegas en sólo dos minutos.

El trabajo que habéis realizado es el mismo: el incremento de energía potencial producido en las cajas es idéntico, pero el tiempo invertido en producirlo ha sido diferente.



Como ves, en la vida cotidiana interesa conocer no sólo el trabajo que se realiza, sino en cuánto tiempo se hace. Por esta razón se necesita el concepto de **potencia**, que mide la **rapidez con la que se realiza el trabajo y se cambia la energía de un objeto**.

Fíjate en la imagen. Para poner en órbita el transbordador espacial se usa un cohete, que debe tener una potencia enorme para hacer ascender el aparato a gran velocidad.

El concepto de potencia es muy importante en el campo de la tecnología, de la industria, del automóvil y de la vida diaria en general: se necesitan máquinas que realicen un trabajo determinado en el menor tiempo posible.

Unidades de potencia

$$Potencia = \frac{\text{trabajo realizado}}{\text{tiempo invertido}} = \frac{W}{t}$$

La unidad de potencia en el Sistema Internacional es el **vatio (W)**, que corresponde a la realización del trabajo de 1 julio en 1 segundo.

Dado que el vatio es una unidad demasiado pequeña para expresar potencias habituales, se utiliza con frecuencia el **kilovatio (1 kW = 1000 W)** en electrodomésticos y el **megavatio (1 MW = 10⁶ W)** en centrales de producción de energía eléctrica.

Otra unidad de uso habitual en motores de automóviles es el **caballo de vapor (CV)**, siendo la equivalencia de 1 CV = 735 W = 0,735 kW.

Potencia, trabajo y energía

El consumo eléctrico, mostrado en la factura que envía la compañía eléctrica todos los meses, se indica en kilovatios hora (kWh). Fíjate en que tanto el trabajo como la energía transformada por una máquina se miden como potencia por tiempo ($W = Pt$ y $E = Pt$), porque el julio es una unidad demasiado pequeña para las cantidades de energía que intervienen: cada kWh equivale a 3,6 millones de julios.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Un error que se comete habitualmente en los medios de comunicación, en los que hay una cultura científica bastante escasa, es referirse a la energía consumida midiéndola en **kW/h, unidad que no tiene ningún significado**.

4. Máquinas

Estás rodeado de máquinas (palancas, poleas, planos inclinados, grúas, motores, ...): el ser humano ha ideado a lo largo de su historia infinidad de ellas.

Las máquinas son un conjunto de piezas o elementos fijos y móviles cuyo funcionamiento permite:

- **transformar la energía**, por ejemplo de eléctrica en mecánica en un motor eléctrico
- **realizar un trabajo de una forma más sencilla: se realiza el mismo trabajo aplicando una fuerza menor durante más distancia.**



El rendimiento de las máquinas

Ya sabes que aunque la energía se conserva, se puede transformar en otros tipos de energía, como sucede en las máquinas, pero **solamente una parte de la energía suministrada a la máquina se aprovecha** (se llama **energía o trabajo útil**), y **el resto se transforma en calor** y no se utiliza.

Piensa, por ejemplo, en una bombilla. Parte de la energía eléctrica se transforma en la luz que te permite ver lo que te rodea, pero si tocas la bombilla notarás como otra parte de la energía se ha transformado en calor, que no tiene ninguna utilidad en este caso. Precisamente por esa razón se fabrican bombillas LED, en las que casi no se pierde energía en forma de calor, y así su rendimiento es mucho mayor.

Ten en cuenta que también se puede perder energía útil debido a las fuerzas de rozamiento entre los diferentes componentes de la máquina, como sucede en las grúas o en el mecanismo de los relojes.

Rendimiento

Se denomina **rendimiento (r)** de una máquina al cociente entre el trabajo útil que proporciona y la energía ha consumido para producirlo. Suele expresarse en tanto por ciento.

$$r = \frac{\text{trabajo útil}}{\text{energía comunicada}} 100$$

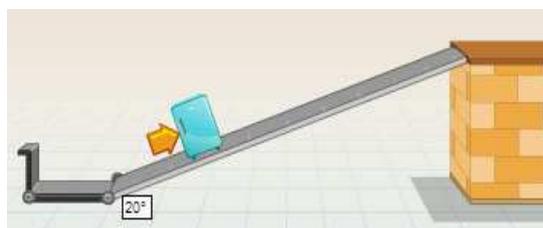
4.1 Planos inclinados y poleas

El plano inclinado y la polea son dos tipos de máquinas que se utilizan con mucha frecuencia para elevar objetos.

Recuerda la definición de trabajo como el producto de la fuerza por el desplazamiento. En las máquinas simples se modifica la magnitud de la fuerza aplicada, su dirección, el desplazamiento o una combinación de estos factores.

El plano inclinado

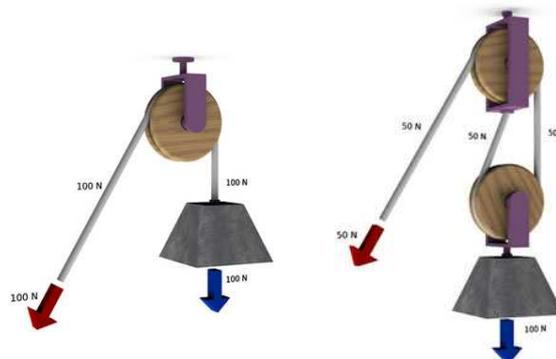
Es una máquina que reduce la fuerza para realizar un trabajo. Así, se hace menos fuerza para subir un objeto pesado por una rampa que si se levanta



verticalmente hasta la misma altura. La variación de energía total (energía potencial) será la misma en ambos casos, pero como la longitud de la rampa es mayor que la distancia vertical, **la fuerza que hay que aplicar es menor.**

La polea

Es una máquina simple en la que se cambia la dirección de la fuerza que se aplica: la fuerza es hacia abajo para levantar el objeto, e igual al peso que se levanta.



A veces se combinan varias poleas, fijas o móviles, y de esta forma se consigue disminuir la fuerza que se necesita aplicar. Esa **combinación de poleas** se llama **polipasto**. Puedes verla y utilizarla en todos los museos de la ciencia.

Fíjate en que el polipasto de la imagen tiene dos poleas, y que para levantar un objeto que pesa 100 N hay que realizar una fuerza de 50 N, pero tirando de la cuerda el doble de distancia.

5. Energía térmica y temperatura

¿Frío o caliente?

Cuando tocas un objeto puedes identificarlo como caliente o como frío dependiendo de la sensación que te produce. ¿Es precisa esa sensación? El sentido del tacto no permite determinar lo caliente o frío que está un objeto. El tacto proporciona, por tanto, una sensación relativa, ya que depende de lo caliente que se encuentre el objeto que acabas de tocar. Esto lleva a la necesidad de definir una magnitud que permita medir esa sensación: **la temperatura.**



Movimiento de las partículas, energía térmica y temperatura

Ya sabes que las partículas que forman la materia no están en reposo aunque el cuerpo que constituyan esté quieto. Las partículas de los **sólidos** vibran continuamente alrededor de su posición de equilibrio, mientras que en los **líquidos** se mueven unas cerca de otras, ocupando un determinado volumen dentro del recipiente que los contiene; y en los **gases** se mueven con total independencia unas de otras, ocupando todo el espacio disponible.

También has visto la energía cinética y la energía potencial, y sabes calcularlas en los objetos sin más que saber su masa, su posición y su velocidad. Por tanto, las partículas que constituyen la materia también tienen una determinada energía cinética por el hecho de moverse a una

velocidad concreta, y la energía que tiene la sustancia por esa razón se llama **energía térmica**. La **temperatura** de un cuerpo está relacionada con el valor promedio de la energía cinética de dichas partículas, de forma que cuanto mayor sea su energía cinética, mayores serán la energía térmica de la sustancia y su temperatura.

A escala de partículas, las cosas no son tan sencillas. Si tienes una sustancia pura gaseosa a una temperatura dada, no todas las partículas, que son iguales, se mueven a la misma velocidad: hay una **distribución de velocidades** alrededor de una velocidad promedio, que lleva la mayor parte de las partículas, mientras que unas pocas se mueven a velocidades mayores o menores.

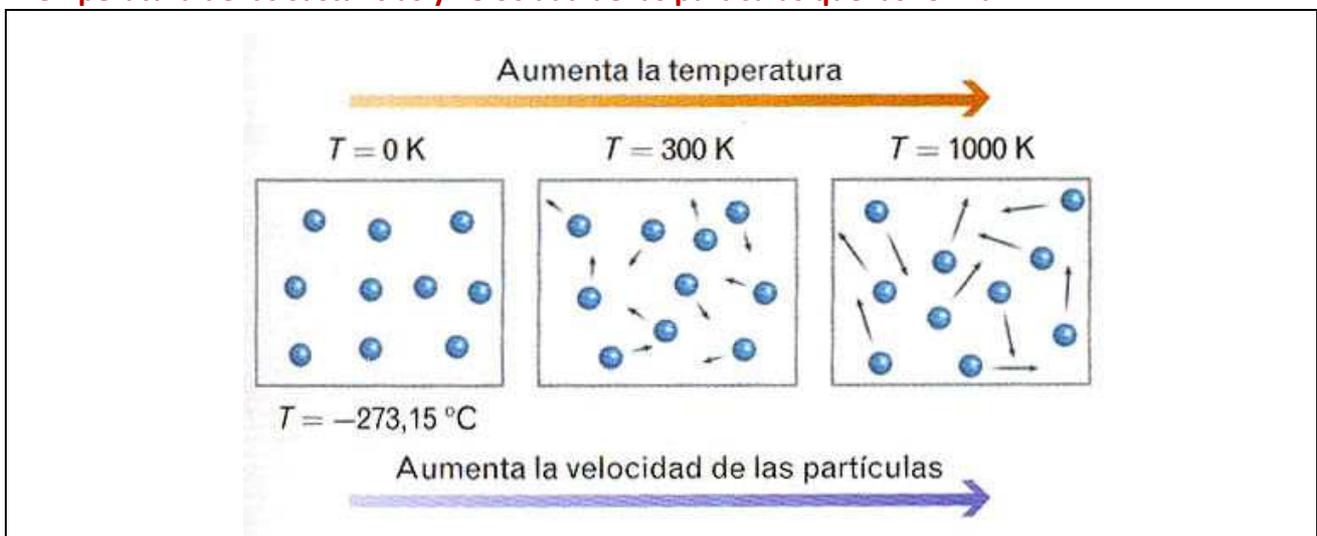
Y si se trata de una mezcla de gases, las partículas de mayor tamaño se mueven más despacio, y las menores más deprisa, de forma que su energía cinética promedio es la misma.

Fíjate en que estás relacionando una propiedad de las partículas (su energía cinética, que depende de la masa y la velocidad de las partículas), que no es observable y no se puede medir directamente, con la temperatura, que es una propiedad macroscópica que puedes medir fácilmente con un termómetro.

La energía cinética que se pierde se transforma en energía térmica, que sirve para aumentar la temperatura de los cuerpos que por estar en contacto han provocado la pérdida de energía.



Temperatura de las sustancias y velocidad de las partículas que las forman



5.1 Calor y equilibrio térmico

¿Qué es el calor?

Todo el mundo sabe que cuando se ponen en contacto dos objetos que se encuentran a temperaturas diferentes, el que se encuentra a mayor temperatura se enfría y el que está a menor temperatura se calienta. En el primero disminuye la energía térmica y en el segundo aumenta, de forma que la que pierde el primero la gana el segundo.

Cuando **pasa energía del cuerpo que está más caliente al que está más frío lo hace en forma de calor**.

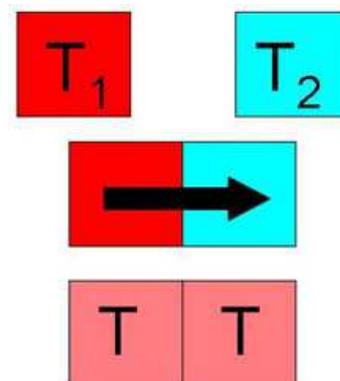
La primera interpretación que se hizo del calor fue considerarlo como un **fluido calorífico** invisible, sin peso y capaz de penetrar en los cuerpos con facilidad, impregnándolos y acumulándose en ellos. Evidentemente, es una idea desechada hoy en día.

Calor

Ten presente que **el calor es un mecanismo de transferir energía** a los objetos, aumentando o disminuyendo su temperatura, y que **el calor no se acumula en los cuerpos**, que no contienen más o menos calor, sino que **tienen más o menos energía térmica**.

Un cuerpo caliente tiende a aumentar la temperatura de los cuerpos que lo rodean, mientras que un cuerpo frío provoca una disminución de temperatura a su alrededor.

Se puede decir que **cuando dos sustancias a diferentes temperaturas se encuentran próximas, se produce entre ellas un intercambio de energía que tiende a crear el equilibrio térmico, que se produce cuando ambas temperaturas se igualan**.



De acuerdo con el **principio de conservación de la energía**, el intercambio energético neto entre los dos sistemas y el entorno sería cero. Si consideras un caso ideal, puedes decir que **el calor cedido por el sistema caliente al enfriarse es justamente el calor absorbido por el sistema frío al calentarse**.

Equilibrio térmico

Dos cuerpos que se encuentran en contacto y **tienen la misma temperatura** se dice que **están en equilibrio térmico**.

6. Efectos del calor

Cuando un cuerpo absorbe o pierde energía térmica en forma de calor se modifica:

- su **temperatura**, que aumenta o disminuye.
- su **estado físico**, en la secuencia sólido - líquido - gas o al revés.
- su **tamaño**, dilatándose o contrayéndose.

Aumento de temperatura

El **calor específico** de una sustancia se define como la cantidad de energía en forma de calor que hay que suministrar a un kg de dicha sustancia para aumentar su temperatura un grado; sus unidades son $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ en el Sistema Internacional.

El calor específico es una **propiedad característica de las sustancias**, ya que depende de las fuerzas que existen entre sus partículas. Además, para una misma sustancia varía según el estado físico. Observa en la tabla los calores específicos de distintas sustancias. Ten en cuenta que un calor específico alto significa que se necesita mucha energía en forma de calor para incrementar la temperatura de la sustancia.

La relación entre la cantidad de calor (Q) que se comunica a un cuerpo y el cambio de temperatura (ΔT) que alcanza es:

$$Q = mc_e(T_f - T_i) = mc_e\Delta T$$

Ten en cuenta que la variación de temperatura ΔT es la misma medida en $^{\circ}\text{C}$ o en K .

- Si el cuerpo absorbe energía en forma de calor, $T_f > T_i$ y $Q > 0$

- Si el cuerpo desprende energía en forma de calor, $T_f < T_i$ y $Q < 0$

Sustancia	Calor específico [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]
Agua	4180
Alcohol etílico	2400
Hielo	2090
Vapor de agua	1920
Aceite	1670
Aire	1000
Aluminio	878
Vidrio	812
Arena	800
Hierro	460
Cobre	375

Siempre que dos cuerpos intercambian energía en forma de calor, como consecuencia del principio de conservación de la energía la energía perdida por uno de ellos (negativa) es la misma que la ganada por el otro (positiva).

$$Q_{\text{absorbido}} + Q_{\text{cedido}} = 0$$

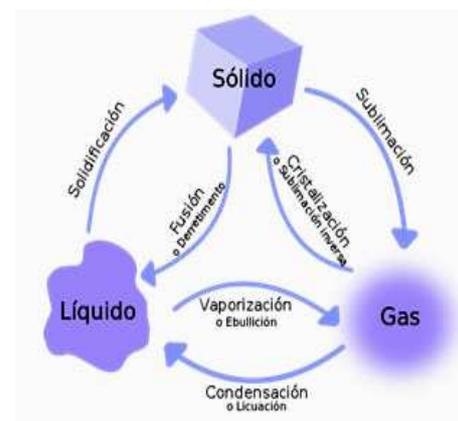
Si pones en contacto dos sustancias a diferente temperatura inicial (T_{1i} menor que T_{2i}), utilizando la expresión en función del calor específico y siendo T la temperatura de equilibrio, intermedia entre las dos temperaturas iniciales, puedes escribir que:

$$m_1 c_{e1} (T - T_{1i}) + m_2 c_{e2} (T - T_{2i}) = 0$$

Como la sustancia 1 se calienta, $T - T_{1i}$ es positivo y absorbe energía en forma de calor, mientras que la sustancia 2 la cede y se enfría ($T - T_{2i}$ es negativo).

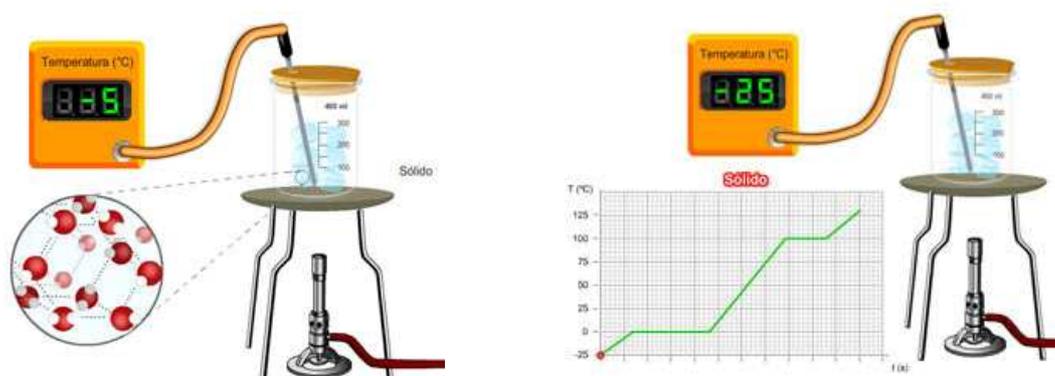
6.1 Cambios de estado

Ya sabes que **si comunicas energía en forma de calor** a una sustancia, además de **aumentar su temperatura** puedes llegar a **producir cambios de estado**, cuyos nombres puedes ver en la imagen.



También sabes que los cambios de estado están relacionados con la intensidad de las fuerzas que mantienen unidas las partículas de una sustancia.

En el estado **sólido** las partículas están muy unidas entre sí, lo que les obliga a permanecer en posiciones casi fijas, salvo pequeñas oscilaciones. En el estado **líquido** las fuerzas entre ellas son menores, por lo que se mueven unas con respecto a otras, deslizándose pero manteniendo bastante proximidad entre ellas. Cuando las fuerzas son prácticamente nulas, las partículas se mueven independientemente unas de otras, alejándose y encontrándose la sustancia en estado **gaseoso**.



Observa en las siguientes simulaciones el calentamiento del agua. Fíjate como cuando el agua está cambiando de estado de agregación la temperatura permanece constante, empleándose toda la energía que se comunica en forma de calor en la modificación de las fuerzas que unen las moléculas de agua para pasar a un nuevo estado (de sólido a líquido o gaseoso).

Las características de cada uno de esos estados se deben a la existencia de interacciones diferentes entre las partículas de la sustancia. Cuando hay un cambio de estado se modifican la uniones entre las partículas en lugar de aumentar la temperatura, de manera que la sustancia presenta un estado físico diferente, con las partículas más alejadas al pasar de sólido a líquido o de líquido a gas.

Por este motivo, la cantidad de sustancia que cambia de estado depende de la cantidad de calor que se le comunica y del tipo de sustancia. Fíjate en la expresión siguiente, en la que se recogen ambos factores, siendo **L el calor latente de cambio de estado**, característico de cada sustancia.

Sustancia	Calor latente de fusión [kJ kg ⁻¹]
Oro	63
Etanol	109
Cobre	134
Hierro	275
Agua	334
Aluminio	400

$$Q = mL$$

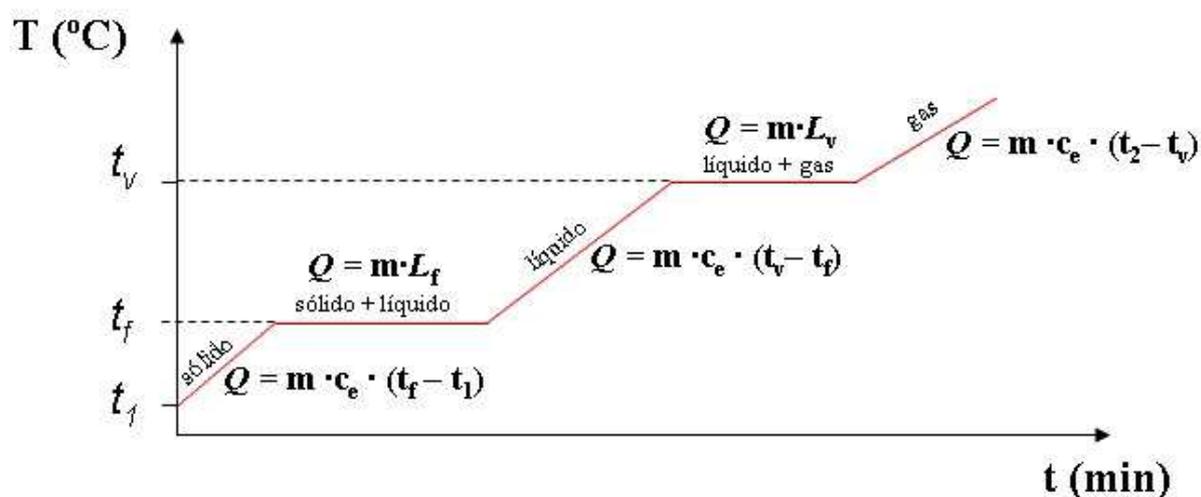
Cambios de estado y equilibrio térmico

Si tienes que considerar el caso de la búsqueda del equilibrio térmico entre cuerpos en diferente estado físico, debes tener en cuenta los cambios de estado que se produzcan. Este sería, por ejemplo, el caso de un bloque de hielo en un recipiente con agua caliente.

En fenómenos de esta naturaleza tienes que considerar que el calor ganado o perdido no tiene por qué emplearse únicamente en variar de temperatura, sino que también puede haber un cambio de estado de alguna de las sustancias implicadas.

El principio de conservación de la energía seguirá siendo válido, pero al calcular la energía absorbida o perdida por cada cuerpo debes contar con la que se ha empleado en el cambio de estado.

En la imagen puedes ver todos los intercambios energéticos que se pueden producir, junto con el calor implicado en cada caso.



6.2 Dilatación

Si viajas en tren o atraviesas un puente en coche, notarás que a veces la vía o la carretera tienen pequeñas interrupciones que aprecias como un ligero salto: son separaciones entre dos tramos que permiten el aumento de tamaño que se produce en épocas de calor.

La explicación se basa en la teoría cinética: las partículas que forman los sólidos y los líquidos tienen un movimiento de vibración que aumenta al incrementarse su temperatura; esto hace que cada vez estén más separadas y, por tanto, aumente el tamaño del cuerpo.

La **dilatación** es el fenómeno por el cual casi todas las sustancias aumentan su volumen al calentarlas (disminuye su densidad). El efecto contrario se denomina contracción.

Dilatación de los sólidos

Cuando un cuerpo se dilata, lo hace en sus tres dimensiones, pero si una de ellas es mucho mayor que las otras se habla de esa dilatación. Existen pues, dilatación lineal, superficial y cúbica. La variación del tamaño dependerá del tamaño inicial, de la variación de temperatura que experimenta y del tipo de material que se trate. Según se trate de una dilatación lineal, superficial o cúbica, se utilizan las siguientes expresiones:

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$$

$$\Delta S = S_0 \beta \Delta T$$

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$$

α , β y γ son los coeficientes de dilatación lineal, superficial y cúbica, respectivamente, y dependen del material que forme el cuerpo. Su valor significa el alargamiento producido en cada metro de sólido al calentarlo 1 °C o 1 K.

En la siguiente tabla tienes los coeficientes de dilatación de materiales usuales.

Sustancia	Coefficiente de dilatación lineal [°C ⁻¹]
Madera	3,9 10 ⁻⁶
Vidrio	8,4 10 ⁻⁶
Acero	1,2 10 ⁻⁵
Cobre	1,7 10 ⁻⁵
Cinc	3,1 10 ⁻⁵



¿Te imaginas que pasaría si no estuviera prevista la dilatación de las vías del tren? Pues que con el calor las vías aumentarían su longitud, con lo que se "abombarían", y el tren no podría circular por ellas. Para evitar este problema se ponen unas juntas de dilatación, que son espacios vacíos cada una cierta longitud, que se "rellenan" cuando el material se dilata, con lo que las vías no sufren ninguna deformación.

Esta misma solución se adopta en los puentes. Cuando vas en coche y pasas por un puente, te habrás dado cuenta de que hay unos pequeños baches que cruzan la calzada. Ahí están "escondidas" las juntas de dilatación.

Lo mismo sucede en las pistas deportivas, con juntas de dilatación entre las placas de hormigón.

Dilatación de los líquidos

En general, los líquidos se dilatan más que los sólidos cuando se someten a un aumento de temperatura. Esto se debe a que las partículas que forman un líquido están menos unidas entre sí que las de un sólido, se separan con más facilidad y por eso su coeficiente de dilatación es mayor. No obstante, esta dilatación es más difícil de medir, ya que los líquidos deben estar contenidos en el interior de un recipiente que también se dilata.

La dilatación lineal del mercurio se ha aprovechado durante mucho tiempo para construir termómetros. Actualmente está prohibido utilizar mercurio, dada su gran toxicidad y capacidad contaminante del medio ambiente, razón por la que se construyen de alcohol o, mejor aún, digitales.



Dilatación de los gases

El estado gaseoso es el más sencillo de estudiar, ya que las partículas de los gases prácticamente no interaccionan entre ellas. Las leyes de los gases se conocen desde hace siglos: si se calienta hasta una temperatura T_f un recipiente de volumen V_i variable que contiene gas a una temperatura T_i , el volumen final V_f viene dado por la relación:

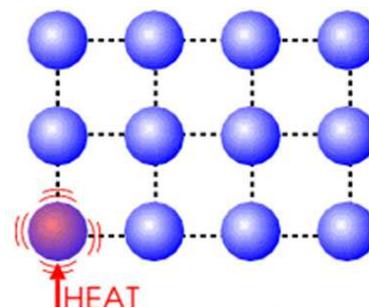
$$\frac{V_i}{T_i} = \frac{V_f}{T_f}$$

7. Transmisión del calor

La transferencia de energía térmica entre los cuerpos que se encuentran a distinta temperatura puede producirse por tres mecanismos: **conducción**, **convección** y **radiación**.

Conducción

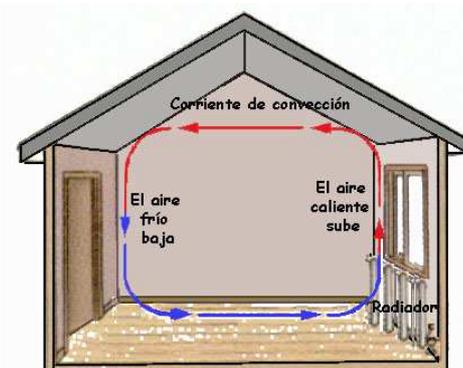
Cuando introduces una cuchara metálica en agua caliente, al poco tiempo acabas notando que el mango de la cuchara se calienta. Esto se debe a que al poner en contacto la cuchara con el agua, las partículas del metal aumentan su energía cinética y su vibración. Cuando estas partículas chocan con las vecinas, les transmiten parte de su energía; este proceso va avanzando poco a poco hasta que llega al otro extremo.



Según su comportamiento en este proceso, los materiales se clasifican en **conductores** y **aislantes térmicos**. Los metales son conductores térmicos excelentes. Materiales aislantes son, por ejemplo, el corcho, los plásticos y la madera. Los líquidos son malos conductores del calor y los gases son los peores conductores térmicos.

Convección

Si calientas un recipiente con agua, el agua que se encuentra más cerca del fuego estará más caliente será menos densa y sus partículas tendrán más energía, ascendiendo hasta zonas más frías. El hueco que dejan estas partículas de mayor energía lo ocuparán las partículas con menor energía que se encontraban en la parte superior, generando corrientes. Por tanto, durante la convección tiene lugar un movimiento real de la materia a causa de la diferencia de densidad y energía de las partículas. Estas corrientes que se producen en fluidos (líquidos y gases) se llaman **corrientes de convección**.



El radiador de la calefacción calienta el aire que le rodea. La corriente de convección que se produce calienta la habitación.

Radiación

Es el proceso por el cual se **transmite energía sin contacto** entre la fuente y el receptor. Por ejemplo, sientes el calor del Sol aunque no puedas tocarlo, y lo mismo sucede con el calor procedente de una bombilla. En ambos casos la radiación que llega procede de un foco calorífico.

Los cuerpos emiten continuamente energía desde su superficie en forma de radiación. Esta energía se denomina **energía radiante**, y se transporta mediante ondas electromagnéticas: cuanto mayor es la temperatura de un cuerpo, más calor se disipa por radiación.



Fíjate en la bombilla. ¿Qué sucede si acercas la mano? ¿Y si llegas a tocarla? Una parte muy importante de la energía eléctrica que consume la bombilla se cede al entorno en forma de calor, aumentando la temperatura a su alrededor. Como su función es dar luz y no producir aumentos de temperatura, este tipo de bombilla ya no se fabrica.

8. Calor y trabajo

Además de los efectos que has visto, **la energía térmica también es capaz de producir un trabajo mecánico**. Es lo que sucede en los motores de los automóviles, en lo que la energía desprendida en forma de calor al quemar el combustible se transforma en movimiento.

La conversión inversa (conversión de energía mecánica en calor) es aún más frecuente. **Cada vez que se realiza un trabajo mecánico, una parte se transforma en energía térmica**: es la energía que se pierde por rozamiento. Así, aunque en el proceso la energía se conserva, una parte se transfiere en forma de calor, que hace aumentar la temperatura del sistema.

Esa **energía perdida se degrada**, pues ya no se puede aprovechar. Sucede esto, por ejemplo, cuando golpeas repetidamente una pieza metálica con un martillo y observas que acaba por calentarse, o cuando tiras de un cuerpo con una cuerda y tus manos se calientan con el roce: la energía total es la misma, pero es mucho más difícil aprovecharla.



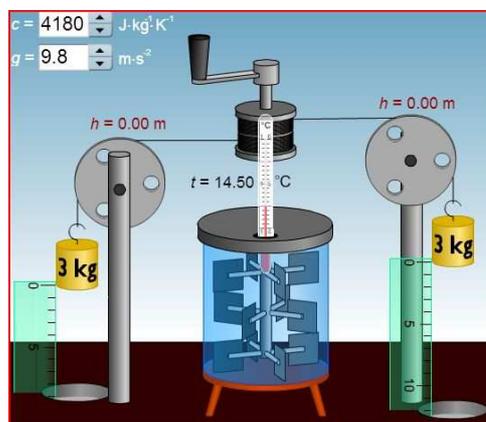
Equivalente mecánico del calor

En 1845 el físico británico James Prescott Joule realizó un **experimento para determinar la equivalencia entre el calor y el trabajo**. Con un dispositivo similar al de la simulación, Joule midió el aumento de temperatura del agua ($T_2 - T_1$) cuando las pesas descendían una determinada altura.

-El trabajo que realizan los cuerpos es $W = mgh$

-El calor que recibe el agua debido al rozamiento con las paletas es: $Q = mc_e(T_2 - T_1)$

Como se trabaja en un sistema aislado, todo el trabajo de las pesas se transforma en el calor que recibe el agua ($W = Q$). Joule encontró que siempre que el agua recibía 1 caloría de calor, las pesas habían realizado un trabajo de 4,18 J.



El equivalente mecánico del calor

Se denomina equivalente mecánico del calor a la relación entre el trabajo realizado y el calor que puede producir: **1 cal = 4,18 J**; o también **1 J = 0,24 cal**.

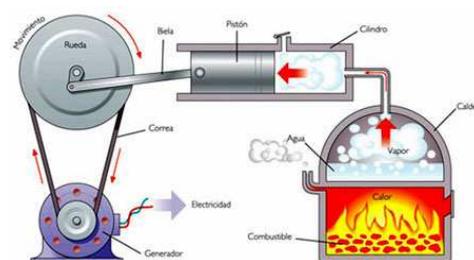
8.1 Máquinas térmicas

Las máquinas térmicas son dispositivos que pueden producir trabajo mecánico a partir de energía térmica. La energía térmica se transfiere en forma de calor desde un foco calorífico a otro que está a menor temperatura.

Según como se obtenga la energía hay dos tipos de máquinas térmicas: de **combustión externa** y de **combustión interna**.

La máquina de vapor

Es un motor de combustión externa. Dispone de una caldera en la que se quema el combustible que está en un elemento distinto de aquél en el que se produce el trabajo mecánico. En las primeras máquinas el combustible era carbón o madera, pero actualmente se utiliza fuel, gas o combustible nuclear en las modernas "máquinas de vapor" que existen en las centrales térmicas o nucleares para producir energía eléctrica; en ellas el vapor producido en una caldera mueve



una turbina que hace girar un generador.



El motor de explosión

Se trata de un motor de combustión interna, que se realiza en el interior del cilindro en el que se produce el trabajo mecánico. Los coches de gasolina llevan un motor de cuatro tiempos, cuyo esquema de funcionamiento puedes ver en la simulación.

Rendimiento de las máquinas térmicas

El rendimiento es un dato que **indica el aprovechamiento que hacen las máquinas de la energía que se les suministra.**

Los motores o máquinas térmicas no son muy eficientes, porque gran parte de la energía que consumen se emplea en calentar las piezas y el entorno. Esa energía, en contra de lo deseado, no se aprovecha para producir trabajo.

Por ejemplo, el rendimiento de las primeras máquinas de vapor que se construyeron solamente era del 8%. Esto quiere decir que de cada 100 J de la energía del combustible solo 8 J eran utilizados para producir trabajo y 92 J se perdían, aumentando la temperatura del entorno.

El rendimiento r de una máquina térmica se mide como la relación en porcentaje entre el trabajo obtenido, W ($W=Q_1-Q_2$) y la energía suministrada, siendo Q_2 el calor perdido y Q_1 la energía que se comunica:

$$r = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} 100$$

9. Producción de energía eléctrica

La energía eléctrica que utilizamos en nuestras casas se produce en las centrales eléctricas y es distribuida por la red eléctrica. Como no se puede almacenar en grandes cantidades, hay que producirla en el mismo momento en que se consume.

La generación de electricidad puede hacerse de varias formas: mediante un alternador, por transformación de energía química en eléctrica en las pilas y baterías o por acción de la luz solar sobre las células fotovoltaicas.

Industrialmente, **la electricidad se genera en centrales eléctricas**, desde las que se transmite por líneas eléctricas a los consumidores a través de redes interconectadas.

Las centrales utilizan combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón), energía nuclear, energía hidráulica, energía eólica, energía solar, energía geotérmica o la biomasa.



Tanto la producción como la distribución crean **problemas medioambientales** que suponen un reto para el futuro, tal y como se observa a simple vista por la emisión de humos en la central térmica de la imagen.

En la producción industrial se utiliza una sola tecnología: un fluido (gas o líquido) hace girar una turbina conectada a un alternador, como puedes ver en la imagen. Las centrales eléctricas se clasifican atendiendo a la fuente de energía primaria que utilizan para disponer del fluido que al moverse a alta velocidad hace girar el alternador. Las más importantes son: **hidroeléctricas, térmicas, nucleares, eólicas y solares**.

9.1 Distribución de la electricidad

La distribución de la energía eléctrica desde las centrales hasta los centros de consumo se realiza a través de la red de transporte.

Las **líneas de transporte** de alta tensión están constituidas por los conductores (cables) y los elementos de soporte (torres).

Las líneas de transporte tienen incidencia en el medio ambiente, tanto por su impacto paisajístico (visual) como por los peligros de electrocución, choque de las aves o de los propios campos electromagnéticos que se generan.

Actualmente, la distribución de la energía eléctrica se realiza mediante corriente alterna, que permite la utilización de los transformadores para elevar y reducir el voltaje. A la salida de la central eléctrica se coloca una estación de transformación en la que la tensión de salida de la central (entre 6 y 20 kV) se eleva hasta entre 220 y 400 kV (alta tensión). Mediante una línea de transporte se aproxima a los centros de consumo, donde en subestaciones de transformación se reduce el voltaje para distribuir la energía a las industrias o las ciudades.



9.2 El recibo de la luz

La compañía eléctrica nos presenta una factura en la que aparecen distintos conceptos:

1. **Potencia contratada.** Depende de la potencia y la tarifa contratadas. Es lo que pagaríamos si nuestra casa estuviera cerrada. La compañía nos reserva por contrato esa potencia por si la queremos usar. Podemos usarla o no, pero la pagamos siempre. Si conectamos más potencia de la contratada salta el limitador de potencia que hay instalado a la entrada de la vivienda. En todas las facturas es la misma cantidad. Una casa media con calefacción no eléctrica tiene suficiente con 4,4 kW.

2. **Energía consumida.** Es la cantidad de energía realmente consumida. Depende del consumo.

3. **Impuesto sobre la electricidad.** Se aplica a la suma de importes de los dos términos anteriores. Es donde se engloba lo que pagamos por la moratoria nuclear, la gestión de residuos, el plan del carbón y los costes de diversificación (las primas a la eólica, solar, cogeneración,...).

4. **Alquiler del equipo de medida.** Los contadores son de la compañía, y se usan para saber cuánta energía gastamos y cuánto nos tienen que cobrar. También es fijo cada mes.

A todos estos conceptos, una vez sumados, hay que añadirles el porcentaje correspondiente de IVA.

En la factura se añade información del historial de consumo, de la tarifa aplicada y la normativa legal en la que se apoya, de los datos de pago y otras informaciones, además de propaganda de otros servicios de la empresa eléctrica.

